Münster.1933.No45 Phil. Diss.

PHYSIK

Über den Einfluß der Entladetemperatur auf die Kapazität des Edison-Sammlers und seine Ursachen

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde

der Philosophischen und Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Westfälischen Wilhelms-Universität zu Münster i. W.

vorgelegt von

Hugo Woeste

aus Lauenscheider Ohl, Kreis Altena

Tag der mündlichen Prüfung: 20. April 1923

Dekan: Professor Dr. Schöne

Referent: Geh. Regierungsrat Professor Dr. G. Schmidt

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Über den Einfluß der Entladetemperatur auf die Kapazität des Edison-Sammlers und seine Ursachen.

Übersicht der einschlägigen Literatur.

1. J. Zedner, Die Theorie des Eisensammlers, Z. Elektrochemie XI, 809 (1905) und XII, 463 (1906).
2. Karl Elbs, Z. Elektrochemie XI, 734 (1905).
3. Fritz Foerster, Z. Elektrochemie XI, 948 (1905); XIII, 414 (1907 und XIV, 285 (1908).
4. O. Faust, Z. Elektrochemie XIII, 161 (1907).
5. Fr. Foerster und W. Herold, Z. Elektrochemie XVI, 461 (1910).
6. Joh. Woost, Über den Einfluß der Temperatur auf das elektromotorische Verhalten des Eisens in Kalilauge. Dissertation, Dresden 1912.
7. O. Pattenhausen, Über das elektromotorische Verhalten der Eisenoxyde in Kalilauge. Dissertation, Dresden 1914.
8. Test of the Edison Storage Battery. Made for the Association of Edison Illuminating Companies under the direction of the lamp committée. Tests conducted and reported by the electrical testing laboratories. New York city 1910.
9. Effect of temperature upon the performance of the Edison Storage Battery. By L. C. Turnock New York, 1916.

A. Einleitung.

Meine berufliche Tätigkeit brachte es mit sich, den Einfluß, den die Temperatur auf die Kapazität des Eisen-Nickel-Akkumulators hat, zu untersuchen.

Es ist für die Technik, die Akkumulatoren in ihren Betrieben verwendet, sehr wichtig, über obigen Einfluß unterrichtet zu sein. Es ist zweifellos die Kapazität sehr abhängig von der Konstruktion, der Art des Zusammenbaues, von dem Druck, unter dem die Einzelteile hergestellt sind; aber diese Abhängigkeit ist doch mehr oder weniger gering bei einem richtig geleiteten Fabrikationsgang.

Bisher haben in Deutschland namentlich Fr. Foerster und seine Mitarbeiter viel über den Eisen-Nickel-Akkumulator, kurz Edison-Akkumulator genannt, gearbeitet. Sie haben meistens die Einzelelektroden untersucht, ohne den Einfluß auf die Gesamtkapazität zu beobachten. Außerdem hat Holland im Laboratorium des Edison-Werkes Versuche in dieser Richtung angestellt. Die in Deutschland nur wenig bekanntgegebenen Resultate sind aber offensichtlich für die Reklame zugestutzt und entbehren daher den Anspruch auf Wissenschaftlichkeit. Aus den angeführten Gründen schien es daher sehr angebracht, den Einfluß der Temperatur auf die Kapazität des Edison-Akkumulators experimentell zu untersuchen.

Unter Kapazität eines Akkumulators versteht man in der Elektrotechnik gewöhnlich die Anzahl der Wattstunden, welche derselbe für praktische Zwecke abzugeben vermag.

Von dieser Kapazität in Wattstunden unterscheidet man die Kapazität in Ampèrestunden, d.h. das Produkt aus Ampèrezahl des Entladestromes und der Zeit, die von Entladebeginn bis zur Erreichung der Entladegrenze verfließt. Da sich die Angabe der Kapazität in Ampèrestunden immer mehr eingebürgert hat, so lege ich letztere meiner Abhandlung zu Grunde. In diesem Falle dient die Spannung des Elementes nur als ein Indikator, mit dessen Hilfe das Ende der Entladung bestimmt wird.

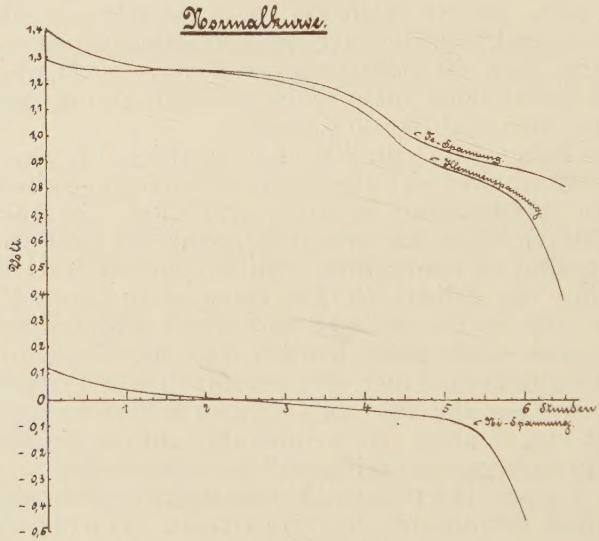
Offenbar ist die Entladung einer Zelle erst dann beendet, wenn die Klemmenspannung den Wert 0 erreicht hat. Man hat aber aus praktischen Gründen die Entladegrenze bei

1 Volt festgesetzt. Ich habe daher bei meinen Versuchen mich an diese Festsetzung gehalten und betrachte daher die Entladung als beendet, wenn die Spannung auf 1 Volt gesunken ist.

Trägt man die abgelesenen Spannungen als Ordinaten in Koordinatenpapier derartig ein, daß die entsprechenden Ablesezeiten die Abszissen bilden, so erhält man eine Kurve, welche sich gegen Ende schnell nach unten wendet.

Wie Kurvenblatt 1 zeigt, ändert sich die Spannung unmittelbar nach Beginn der Entladung, um erst hinterher etwa konstant zu werden. Ferner ist zu ersehen, daß, nachdem die Spannung bis 1 Volt gesunken ist, sich dieselbe schnell der

KURVENBLATT 1



Null nähert. Der ziemlich konstant bleibende Teil gibt den praktisch verwertbaren Verlauf der Spannung.

Als Versuchs-Elemente dienten Original-Edison-Zellen und solche, die von der Deutschen Edison-Akkumulatoren-Company Berlin hergestellt waren.

Die aktive Masse der negativen Platten ist feinverteiltes Eisen, Ferrum reductum genannt, mit etwas Quecksilberoxyd gemischt. Die positive Masse besteht aus Nickeloxyd, das zur besseren Leitfähigkeit mit feinverteilten Nickelflittern oder Graphit gemischt wird.

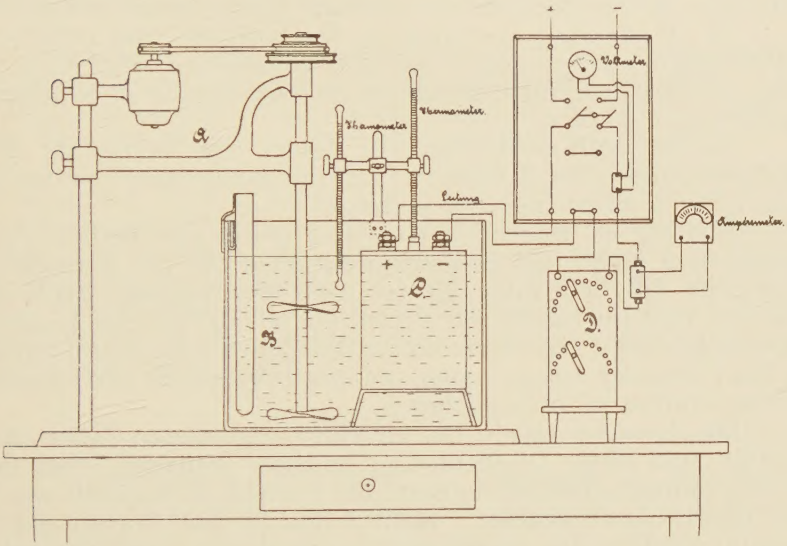
Als Elektrolyt dient 25 % ige Kalilauge mit etwas Lithiumhydroxyd-Zusatz. Während bei dem Blei-Akkumulator der

Elektrolyt selbst an dem chemischen Prozeß teilnimmt, dient die Kalilauge nur als Stromleiter. Die Schwankungen des spez. Gewichtes derselben sind lediglich durch Wasserbildung oder Verbrauch bedingt. Im Gegensatz zur Schwefelsäure nimmt daher das spez. Gewicht der Kalilauge bei der Ladung ab und bei der Entladung zu.

B. Versuchsanordnung.

Die Versuchsanordnung ist aus dem folgenden Schema zu ersehen:

Versuchsanordnung.



Die Zelle C wurde in dem Thermostaten B nach vorhergehender Ladung bei Zimmertemperatur entladen. Das Rührwerk A sorgte für überall gleiche Temperatur im Bade. Der Etagenwiderstand D ermöglichte durch Hinter- bezw. Nebeneinanderschalten ein genaues Einhalten der Stromstärke, die mit Hilfe des Millivoltmeters im Nebenschluß genau verfolgt werden konnte.

Die Schaltvorrichtung war so hergestellt, daß die Zellen ohne Platzwechsel auf Ladung und Entladung geschaltet werden konnten.

Die Temperatur wurde mit Hilfe zweier Normalthermometer, geeicht von der Physikal-Technischen Reichsanstalt, sowohl im Bad als auch in der Zelle beobachtet. Die tiefen Temperaturen wurden durch Eis bezw. Eissalzmischung erzeugt, während die mittleren Temperaturen direkt durch Leitungswasserkühlung erhalten wurden. Die höheren Temperaturen wurden durch die Heizvorrichtung E erzielt, die eine genaue Einregulierung zuließ.

Die Spannung der Zelle wurde mit einem Weston-Instrument messend verfolgt und zwar wurde zuerst alle zehn Minuten, dann alle 5 bezw. 1 Minute abgelesen. Gleichzeitig diente als Kontrolle ein registrierendes Voltmeter von der Firma Siemens & Halske.

Die Stromstärke wurde gleichzeitig durch ein registrierendes Ampèremeter derselben Firma aufgezeichnet. Die doppelte Meßmöglichkeit vereinfachte die Versuche wesentlich.

Die Einzelspannungen der positiven und negativen Elektroden wurden gegen schwach entladene Nickel-Elektroden als Bezugsnormale gemessen, welche ständig in Kalilauge aufbewahrt wurden.

Da der Edison-Akkumulator immer eine bestimmte Zeit geladen wird ohne Rücksicht auf Spannungshöhe, so wurde die Ladung nicht messend verfolgt.

Endlich ist folgender Umstand besonders zu beachten, wenn man homogene Beobachtungsreihen für die Vergleichsversuche erhalten will. Es ist nach der Ladung dafür zu sorgen, daß im Innern der Zellen überall die gleiche Laugendichte herrscht. Ich habe daher die Zellen nach der Ladung 1 bis 2 Stunden ruhen lassen, um einen Ausgleich der Laugenkonzentration zu ermöglichen.

Die Lauge wurde bis zu einer bestimmten Höhe eingefüllt und diese Laugenmenge konstant gehalten. Bei höheren Temperaturen verdunstete die Flüssigkeit ziemlich rasch; es mußte dann häufiger warmes destilliertes Wasser nachgefüllt werden. Die gewünschte Laugendichte wurde vor jeder Entladung genau einreguliert.

Der Akkumulator wurde bei tiefen Temperaturen nach Entladung bis 1 Volt erwärmt und dann weiter entladen, um sicher zu sein, daß keine Restkapazität vorhanden war, die falsche Resultate bedingt hätte.

Die Auswertung der Einzelentladungen geschah so, daß nach jedem Versuch eine Kurve angefertigt wurde, die dem Entladeverlauf entsprach. Die Kurve ermöglichte eine genaue Zeitbestimmung der Entladegrenze und dadurch eine genaue Angabe der Kapazität in Ampèrestunden.

Die Versuche wurden so vorgenommen, daß die Zellen bei verschiedenen Temperaturen abwechselnd entladen wurden, sodaß die Ergebnisse derselben Temperatur nicht hintereinander erhalten wurden. Diese Reihenfolge ermöglichte eine bessere Übersicht über die Versuchsergebnisse.

Die Zellen wurden zuerst normal behandelt, d. h. es wurden mehrere Entladungen bei Zimmertemperatur vorgenommen, um festzustellen, ob dieselben den listenmäßigen Angaben entsprachen.

Ich lasse jetzt die Versuchsergebnisse folgen:

C. Versuchsergebnisse.

1. Versuchszellen Type F 12/6.

Die ersten Versuche nahm ich mit Zellen vorgenannter Type vor. Diese Zellen sind sogenannte Taschenzellen, d. h. sowohl die positive wie negative Masse ist in kleine Taschen aus vernickeltem, perforiertem Eisenblech eingepreßt.

Sie besteht aus 8 positiven Platten zu je 6 Taschen und 4 negativen Platten zu je 6 Taschen. Die Platten sind so zusammengebaut, daß auf je 2 positive Platten eine negative folgt. Die Isolierung der Einzelplatten voneinander geschieht durch Hartgummistäbchen. Tabelle 1 enthält die Angaben über Füllgewichte und spezifische Belastung der Massen, während Tabelle 2 die Angaben über Lade- und Entladestromstärke und -Zeit enthält.

TABELLE 1

Füllmasse pro Tasche		Strom pro Tasche		Strom pro g Masse		Kapazität pro Tasche		Kapazität pro g Masse	
pos.	neg.	pos.	neg.	pos.	neg.	pos.	neg.	pos.	neg.
g	g	Amp.	Amp.	Amp.	Amp.	A. h	A. h	A. h	A. h
3,4	5,1	0,104	0,208	0,0306	0,0408	0,4165	0,833	0,1233	0,16

TABELLE 2

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h	Kapazität in Amp.-Std.
7,2	4	5	4	20

Die Zellen wurden zuerst bei Zimmertemperatur geladen und entladen, um zu sehen, ob die Kapazität in etwa konstant bleibt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammengefaßt:

TABELLE 3

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h		Kapazität in Amp.-Std.		% der listenmäßigen Garantie	
		Zelle:	1	2	1	2	1	2
7,2	4	5	4^{30}	4^{20}	22,5	21,6	111,5	108,33
			4^{10}	4^{20}	20,8	21,7	104,7	108,30
			4^{20}	4^{20}	21,7	21,7	108,3	108,30
			4^{20}	4^{20}	21,7	21,7	108,3	108,30

Die Ergebnisse zeigen, daß die beiden Zellen eine gute Leistung hatten und daher für die Versuche brauchbar waren.

Ich lasse die weiteren Versuchsergebnisse so folgen, daß die zu einer bestimmten Temperatur gehörenden Werte in derselben Tabelle verzeichnet sind.

Versuchstemperatur — 15° C.

Diese Temperatur wurde durch Eis-Kochsalzmischung erreicht. Ladetemperatur war Zimmertemperatur.

TABELLE 4

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h		Kapazität in Amp.-Std.		% der listenmäßigen Garantie	
		Zelle:	1	2	1	2	1	2
7,2	4	5	3'	5'	0,25	0,42	1,5	2
			3'	3'	0,25	0,25	1,5	1,5

Als Mittelwert ergibt sich:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std.	% der Garantie
0.25	1,5	0,33	1,7

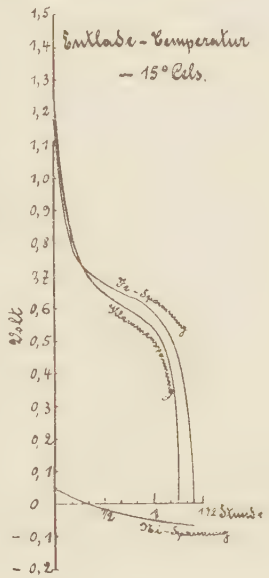
Die Einzelergebnisse weichen ab vom Mittelwert:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std.	% der Garantie
±0	±0	+ 0,09	+ 0,3
±0	±0	— 0,08	— 0,2

Da die Kapazität zu gering war, um praktisch verwertet werden zu können, wurde die Versuchsreihe bei — 15° C abgebrochen. Den Verlauf der Spannung veranschaulicht Kurvenblatt 2.

Wie aus Kurve 2 ersichtlich, ist die eigentliche Entladegrenze erst bei dem Wendepunkt A erreicht. Aber die Spannungslage ist derartig tief, daß die nutzbare Energie praktisch nicht verwertbar ist.

KURVENBLATT 2



Entladetemperatur — 6° C.

Diese Temperatur wurde ebenfalls durch Eis-Kochsalzmischung erzielt. Die Versuchsergebnisse enthält Tabelle 5.

TABELLE 5

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h		Kapazität in Amp.-Std.		% der listenmäßigen Garantie	
		Zelle:	1	2	1	2	1	2
7,2	4	5	8'	10'	0,67	0,83	3,2	4
			10'	11'	0,83	0,92	4	4
			9'	10'	0,75	0,83	3,6	4,2

Als Mittelwert ergibt sich:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std.	% der Garantie
0,75	3,6	0,86	4,3

Die Einzelergebnisse weichen ab vom Mittelwert:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std.	% der Garantie
— 0,08	— 0,4	— 0,03	— 0,3
+ 0,08	+ 0,4	+ 0,06	+ 0,1
± 0	± 0	— 0,03	— 0,1

Die Kapazität war wiederum derartig gering, daß eine Weiterführung der Entladungen bei — 6 ^{0} C nicht vorgenommen wurde. Kurvenblatt 3 gibt den Verlauf der Entladespannung wieder. Die Entladegrenze ist augenscheinlich erst bei dem Wendepunkt A erreicht, aber die Entladespannung ist derartig tief, daß die nutzbare Energie praktisch nicht verwertbar ist.

KURVENBLATT 3

Entladetemperatur — 3° C.

Die Versuchsergebnisse sind in Tabelle 6 aufgeführt.

TABELLE 6

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h		Kapazität in Amp.-Std.		% der listenmäßigen Garantie	
		Zelle:	1	2	1	2	1	2
7,2	4	5	248	252	14,0	14,33	69,2	70,85
			244	253	13,67	15,41	67,6	71,25
			246	250	13,83	14,16	68,44	70,05
			247	254	13,92	14,50	68,85	71,65
			245	248	13,75	14,00	68,85	69,52

Als Mittelwert ergibt sich:

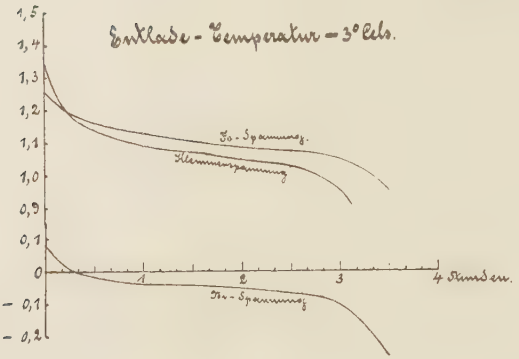
Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std.	% der Garantie
13,83	68,57	14,48	70,61

Die Einzelergebnisse weichen ab vom Mittelwert:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std.	% der Garantie
+ 0,17	+ 0,45	— 0,15	— 0,24
— 0,16	+ 0,97	+ 0,95	+ 0,64
± 0	± 0	— 0,32	— 0,56
— 0,08	— 0,27	+ 0,02	+ 0,04
+ 0,09	+ 0,18	— 0,48	— 1,36

Wie aus den Ergebnissen zu ersehen ist, nimmt die Kapazität bei — 3 ° C fast sprunghaft zu. Die kritische tiefe Entladetemperatur muß also zwischen — 3 und — 5 ° liegen. Wir haben eine Zunahme von 65 % im Mittel, sodaß man annehmen kann, daß bei — 4 ° C der praktischen Verwendung des Edison-Akkumulators die Grenze gesetzt ist. Kurvenblatt 4 veranschaulicht den Spannungsverlauf. Beide Elektroden, namentlich die Eisen-Elektrode, haben sich aufgebessert.

KURVENBLATT 4



Entladetemperatur + 1° C.

Die Versuchsergebnisse sind in Tabelle 7 aufgeführt.

TABELLE 7

Lade- strom Amp.	Lade- zeit h	Entlade- strom Amp.	Entlade- zeit h		Kapazität in Amp.-Std.		% der listenmäßigen Garantie	
		Zelle:	1	2	1	2	1	2
7,2	4	5	3³⁵	3³⁵	17,9	17,9	89,5	89,5
			3³³	3³⁰	17,8	17,5	89,0	87,5
			3²³	3²⁶	16,92	17,17	84,22	85,43
			3⁴⁵	3⁴⁰	18,8	18,3	94	91,5
			3³⁵	3³⁵	17,9	17,9	89,5	89,5

Als Mittelwert ergibt sich:

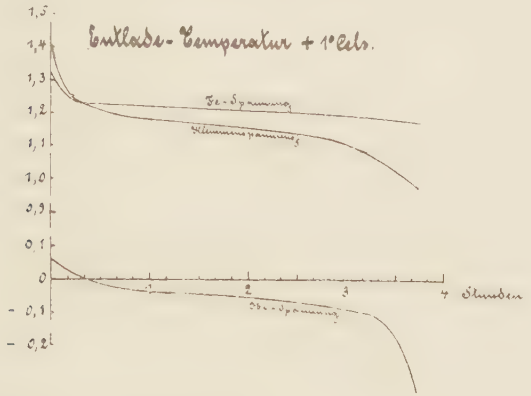
Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Gar.	Amp.-Std.	% der Gar.
17,86	89,24	17,75	88,69

Die Einzelergebnisse weichen ab vom Mittelwert:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Gar.	Amp.-Std.	% der Gar.
+ 0,04	+ 0,26	+ 0,15	+ 0,81
— 0,06	— 0,24	— 0,25	— 1,11
— 0,94	— 1,02	— 0,58	— 3,26
+ 0,96	+ 4,76	+ 0,55	+ 2,81
+ 0,04	+ 0,26	+ 0,15	+ 0,81

Wir haben wiederum im Mittel eine Kapazitätszunahme von rund 24 % zu verzeichnen. Kurvenblatt 5 veranschaulicht den Spannungsverlauf.

KURVENBLATT 5



Entladetemperatur + 5° C.

Die Resultate sind aus Tabelle 8 zu ersehen.

TABELLE 8

Lade-		Entlade-			Kapazität in Amp.-Std.		% der listenmäßigen Garantie	
strom Amp.	zeit h	strom Amp.	zeit h					
		Zelle:	1	2	1	2	1	2
7,2	4	5	4^{02}	4^{10}	20,17	20,83	100,8	104,01
			3^{56}	3^{45}	19,66	18,75	97,46	93,05
			3^{58}	4^{05}	19,81	20,20	98,26	102,05
			3^{48}	4^{00}	19,00	20,00	94,25	100,00
			3^{55}	3^{50}	19,58	19,17	97,06	95,05

Als Mittelwert ergibt sich:

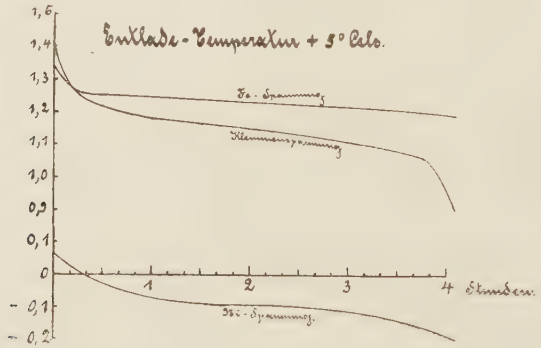
Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std.	% der Garantie
19,64	97,56	19,99	98,97

Die Einzelergebnisse weichen ab vom Mittelwert:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std.	% der Garantie
+ 0,53	+ 3,24	+ 0,84	+ 5,04
+ 0,02	+ 0,10	— 1,24	— 5,22
+ 0,17	+ 0,70	+ 0,21	+ 3,08
— 0,64	— 3,31	+ 0,01	+ 1,03
— 0,06	— 0,50	— 0,82	— 3,92

Die Kapazität hatte sich aufgebessert. Der Spannungsverlauf ist aus Kurvenblatt 6 zu ersehen.

KURVENBLATT 6



Entladetemperatur + 10° C.

Die Ergebnisse enthält Tabelle 9.

TABELLE 9

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h		Kapazität in Amp.-Std.		% der listenmäßigen Garantie	
		Zelle:	1	2	1	2	1	2
7,2	4	5	405	405	20,41	20,41	102	102
			402	404	20,17	20,33	100,8	101,7
			405	410	20,41	20,83	102	104,1
			405	405	20,41	20,41	102	102
			405	410	20,41	20,83	102	104,1

Als Mittelwert ergibt sich:

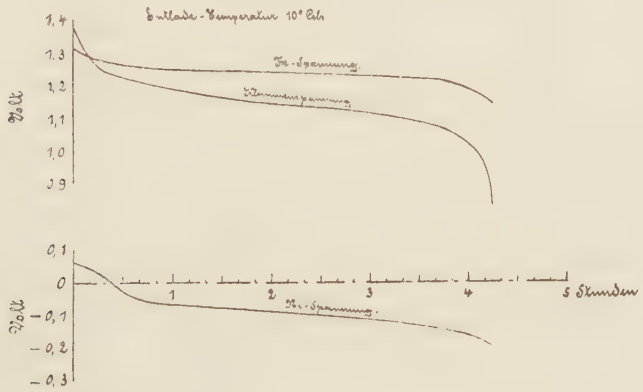
Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std.	% der Garantie
20,36	101,76	20,56	102,78

Abweichung der Einzelergebnisse vom Mittelwert:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std.	% der Garantie
+ 0,05	+ 0,24	— 0,15	— 0,78
— 0,19	— 0,96	— 0,23	— 1,08
+ 0,05	+ 0,24	+ 0,27	+ 1,32
+ 0,05	+ 0,24	— 0,15	— 0,78
+ 0,05	+ 0,24	+ 0,27	+ 1,32

Die Kapazitätszunahme hatte sich wesentlich verringert. Kurvenblatt 7 veranschaulicht den Spannungsverlauf.

KURVENBLATT 7



Entladetemperatur + 15° C.

Tabelle 10 enthält die Versuchsergebnisse.

TABELLE 10

Lade- strom Amp.	Lade- zeit h	Entlade- strom Amp.	Entlade- zeit h		Kapazität in Amp.-Std.		% der listenmäßigen Garantie	
		Zelle:	1	2	1	2	1	2
7,2	4	5	415	420	21,25	21,7	106,25	108,3
			415	417	21,25	21,4	106,25	108,1
			420	420	21,7	21,7	108,3	108,3
			416	420	21,3	21,7	106,8	108,3
			416	420	21,3	21,7	106,7	108,3

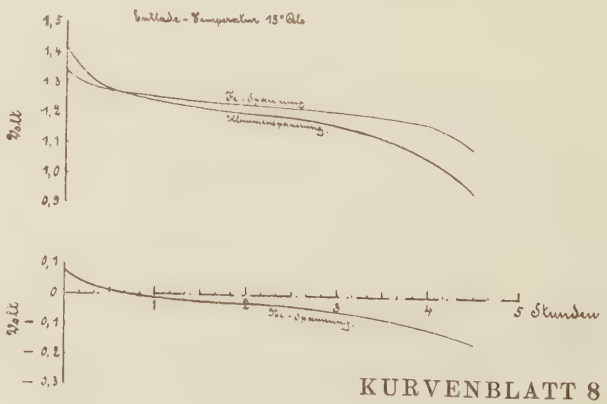
Der Mittelwert beträgt:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std.	% der Garantie
21,36	106,84	21,64	108,26

Die Einzelergebnisse weichen ab vom Mittelwert:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std.	% der Garantie
— 0,11	— 0,59	+ 0,06	+ 0,04
— 0,11	— 0,59	— 0,24	— 0,16
+ 0,34	+ 1,46	+ 0,06	+ 0,04
— 0,06	— 0,14	+ 0,06	+ 0,04
— 0,06	— 0,14	+ 0,06	+ 0,04

Es ist wiederum eine geringe Kapazitätszunahme zu verzeichnen. Kurvenblatt 8 gibt den Spannungsverlauf wieder.



KURVENBLATT 8

Entladetemperatur + 20° C.

Die Versuchsergebnisse sind in Tabelle 11 niedergelegt:

TABELLE 11

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h		Kapazität in Amp.-Std.		% der listenmäßigen Garantie	
		Zelle:	1	2	1	2	1	2
7,2	4	5	4²⁵	4²⁷	22,08	22,25	110,02	110,83
			4²⁰	4²⁰	21,66	21,66	108,02	108,02
			4¹⁸	4¹⁸	21,5	21,5	107,22	107,22
			4²²	4²²	21,8	21,8	108,82	108,82

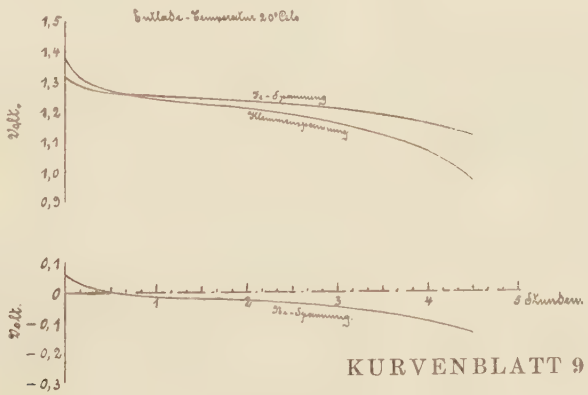
Als Mittelwert ergibt sich:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std.	% der Garantie
21,76	108,52	21,802	108,73

Die Abweichungen vom Mittelwerte betragen:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std	% der Garantie
+ 0,32	+ 1,50	+ 0,45	+ 2,10
— 0,10	— 0,50	— 0,14	— 0,71
— 0,26	— 1,30	— 0,30	— 1,50
+ 0,04	+ 0,30	+ 0,002	+ 0,09

Kurvenblatt 9 veranschaulicht den Spannungsverlauf.



KURVENBLATT 9

Entladetemperatur + 25° C.

In der nachstehenden Tabelle 12 sind die Versuchsergebnisse enthalten:

TABELLE 12

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h		Kapazität in Amp.-Std.		% der listenmäßigen Garantie	
		Zelle:	1	2	1	2	1	2
7,2	4	5	430	422	22,5	21,8	112,5	108,8
			430	430	22,5	22,5	112,5	112,5
			430	430	22,5	22,5	112,5	112,5
			435	430	22,9	22,5	114,04	112,5
			430	430	22,5	22,5	112,5	112,5

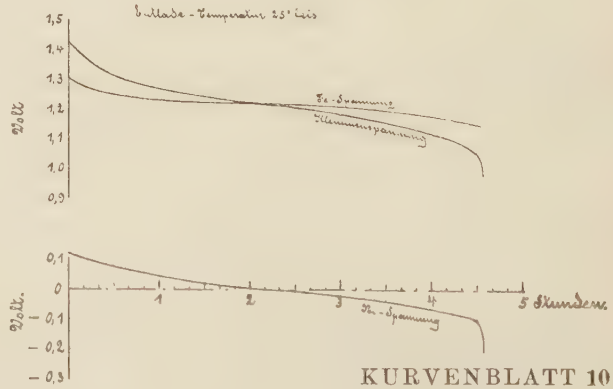
Der Mittelwert errechnet sich zu:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Gar.	Amp.-Std.	% der Gar.
22,58	112,8	22,36	111,8

Die Unterschiede der Einzelwerte vom Mittelwerte betragen:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Gar.	Amp.-Std.	% der Gar.
— 0,08	— 0,3	— 0,56	— 3,0
— 0,08	— 0,3	+ 0,14	+ 0,7
— 0,08	— 0,3	+ 0,14	+ 0,7
+ 0,32	+ 1,24	+ 0,14	+ 0,7
— 0,08	— 0,3	+ 0,14	+ 0,7

Es ist noch immer eine Kapazitätszunahme zu verzeichnen. Das Kurvenblatt 10 zeigt den Spannungsverlauf.



KURVENBLATT 10

Versuchstemperatur + 30° C.

In Tabelle 13 sind die Versuchsergebnisse aufgeführt:

TABELLE 13

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h		Kapazität in Amp.-Std.		% der listenmäßigen Garantie	
		Zelle:	1	2	1	2	1	2
7,2	4	5	440	435	23,3	23,9	116,0	114,04
			435	435	22,9	22,9	114,04	114,04
			430	430	22,5	22,5	112,5	112,5
			435	435	22,9	22,9	114,04	114,04

Der Mittelwert beträgt:

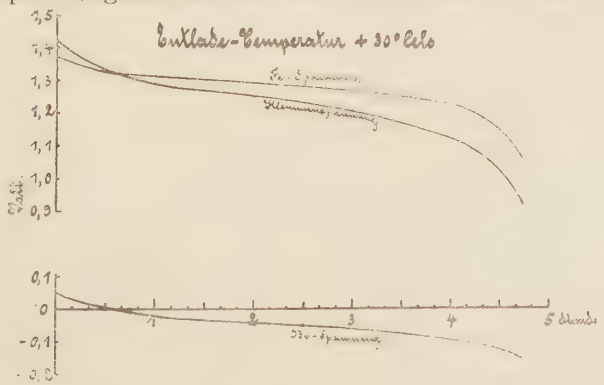
Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Gar.	Amp.-Std.	% der Gar.
22,9	114,04	22,8	113,65

Die Abweichungen der Einzelwerte vom Mittelwerte belaufen sich auf:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Gar.	Amp.-Std.	% der Gar.
+ 0,4	+ 1,96	+ 0,1	+ 3,9
± 0	± 0	+ 0,1	+ 0,39
— 0,4	— 1,504	— 0,3	— 1,15
± 0	± 0	+ 0,1	+ 0,39

Der Spannungsverlauf ist aus Kurvenblatt 11 zu ersehen.

KURVENBLATT 11



Versuchstemperatur + 35° C.

Nachstehende Tabelle 14 enthält die Versuchsergebnisse:

TABELLE 14

Lade-		Entlade-			Kapazität in Amp.-Std.		% der listenmäßigen Garantie	
strom Amp.	zeit h	strom Amp.	zeit h					
		Zelle:	1	2	1	2	1	2
7,2	4	5	500	437	25	23,08	125	115,39
			437	428	23,08	22,33	115,39	111,55
			445	430	23,75	22,5	118,75	112,5
			445	430	23,75	22,5	118,75	112,5
			445	438	23,75	23,08	118,75	115,71

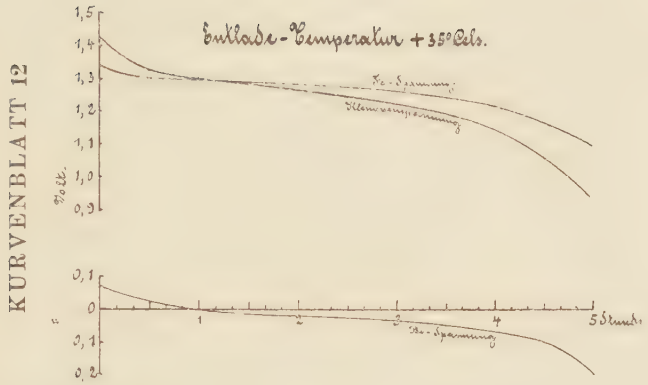
Mittelwert:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std.	% der Garantie
23,86	119,46	22,69	113,53

Abweichungen der Einzelwerte vom Mittelwert:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std.	% der Garantie
+ 1,14	+ 5,54	+ 0,39	+ 1,86
— 0,78	— 4,07	— 0,36	— 1,98
— 0,11	— 0,71	— 0,19	— 1,03
— 0,11	— 0,71	— 0,19	— 1,03
— 0,11	— 0,71	+ 0,39	+ 2,18

Die Zelle 2 war in ihrer Leistung gegen Zelle 1 stark zurückgegangen. Sie wurde daher mit neuer Lauge versehen und mehrere Male normal geladen und entladen, bevor sie wieder in den Versuchskreis eingeschaltet wurde. Kurvenblatt 12 gibt den Verlauf der Spannung bei 35° C wieder.



Versuchstemperatur + 40° C.

TABELLE 15

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h		Kapazität in Amp.-Std.		% der listenmäßigen Garantie	
		Zelle:	1	2	1	2	1	2
7,2	4	5	445	430	23,75	22,5	118,75	112,5
			435	435	22,92	22,92	114,56	114,56
			450	450	24,17	24,17	120,8	120,8
			445	445	23,75	23,75	118,75	118,75
			445	445	23,75	23,75	118,75	118,75

Mittelwert:

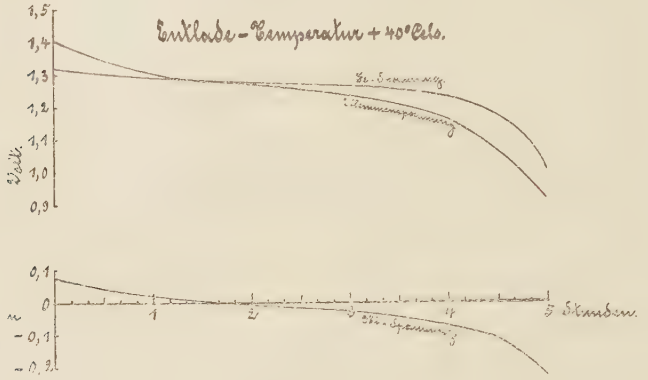
Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Gar.	Amp.-Std.	% der Gar,
23,67	118,32	23,42	117,07

Abweichungen der Einzelwerte vom Mittelwerte:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Gar.	Amp.-Std.	% der Gar.
+ 0,08	+ 0,42	— 0,92	— 4,57
— 0,75	— 3,76	— 0,50	— 2,53
+ 0,50	+ 2,48	+ 0,75	+ 3,73
+ 0,08	+ 0,42	+ 0,33	+ 1,68
+ 0,08	+ 0,42	+ 0,33	+ 1,68

Wir haben zum ersten Male eine geringe Kapazitätsabnahme zu verzeichnen. Kurvenblatt 13 zeigt den Verlauf der Spannung.

KURVENBLATT 13



Versuchstemperatur + 45° C.

Die Versuchsergebnisse enthält Tabelle 16.

TABELLE 16

Lade-		Entlade-			Kapazität in Amp.-Std.		% der listenmäßigen Garantie	
strom Amp.	zeit h	strom Amp.	zeit h					
		Zelle:	1	2	1	2	1	2
7,2	4	5	4³⁰	4²⁸	22,5	22,33	112,5	111,65
			4¹⁵	4⁰⁸	21,25	20,67	106,25	103,28
			4³⁰	4²⁵	22,5	22,08	112,5	110,40
			4¹⁵	4⁰⁰	21,25	20,00	106,25	100,00
			4¹⁵	4⁰⁸	21,25	20,67	106,25	103,28
			4³⁰	4²⁵	22,5	22,08	112,5	110,40

Mittelwert:

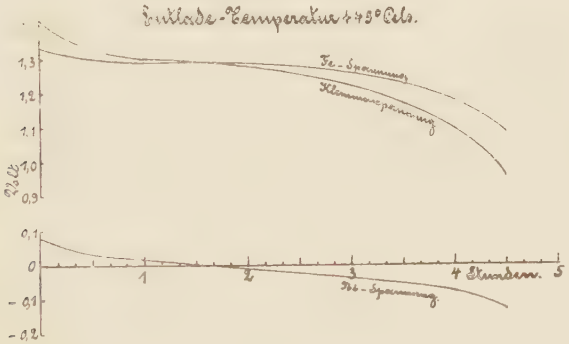
Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std.	% der Garantie
21,87	109,37	21,3	106,5

Abweichungen der Einzelwerte vom Mittelwert:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std.	% der Garantie
+ 0,63	+ 3,13	+ 1,03	+ 5,15
— 0,62	— 3,12	— 0,63	— 3,22
+ 0,63	+ 3,13	+ 0,78	+ 3,90
— 0,62	— 3,12	— 1,30	— 6,50
— 0,62	— 3,12	— 0,63	— 3,22
+ 0,63	+ 3,13	+ 0,78	+ 3,90

Es ist wiederum eine geringe Kapazitätsabnahme zu verzeichnen. Außerdem schwanken die Werte sehr. Auf den Grund dieser Erscheinung wird später eingegangen werden. Kurvenblatt 14 gibt den Spannungsverlauf wieder.

KURVENBLATT 14



Versuchstemperatur + 50° C.

TABELLE 17

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h		Kapazität in Amp.-Std.		% der listenmäßigen Garantie	
		Zelle:	1	2	1	2	1	2
7,2	4	5	4²²	4¹⁰	21,83	20,83	109,15	104,16
			4⁰⁸	4⁰⁴	20,67	20,33	103,28	101,66
			4¹⁷	4¹²	21,42	20,99	107,07	104,99
			4¹⁸	4¹⁰	21,49	20,83	107,49	104,16

Mittelwert:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std.	% der Garantie
21,35	106,75	20,74	103,73

Abweichungen vom Mittelwerte:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std.	% der Garantie
+ 0,48	+ 2,40	+ 0,09	+ 0,42
— 0,68	— 3,47	— 0,41	— 2,08
+ 0,07	+ 0,32	+ 0,25	+ 1,25
+ 0,14	+ 0,74	+ 0,09	+ 0,42

KURVENBLATT 15

Versuchstemperatur + 55° C.

TABELLE 18

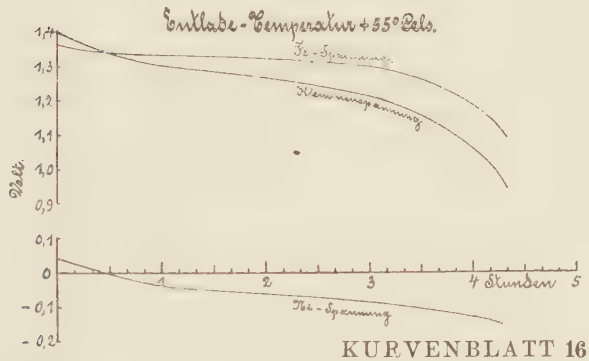
Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h		Kapazität in Amp.-Std.		% der listenmäßigen Garantie	
		Zelle:	1	5	1	2	1	2
7,2	4	5	410	406	20,83	20,49	104,16	102,49
			412	408	20,99	20,67	104,99	103,32
			408	406	20,67	20,49	103,33	102,49
			413	410	21,08	20,83	105,41	104,16
			409	402	20,75	20,17	103,74	100,83

Mittelwert:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std.	% der Garantie
20,86	104,32	20,53	102,66

Abweichungen vom Mittelwerte:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std.	% der Garantie
— 0,03	— 0,16	— 0,04	— 0,17
+ 0,13	+ 0,67	+ 0,14	+ 0,66
— 0,19	— 0,99	— 0,04	— 0,17
+ 0,22	+ 1,09	+ 0,30	+ 1,50
— 0,11	— 0,58	— 0,36	— 0,85



KURVENBLATT 16

Versuchstemperatur + 70° C.

TABELLE 19

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h		Kapazität in Amp.-Std.		% der listenmäßigen Garantie	
		Zelle:	1	2	1	2	1	2
7,2	4	5	356	350	19,66	19,17	98,23	95,80
			358	354	19,83	19,49	99,13	97,46
			402	351	20,16	19,24	100,83	96,22

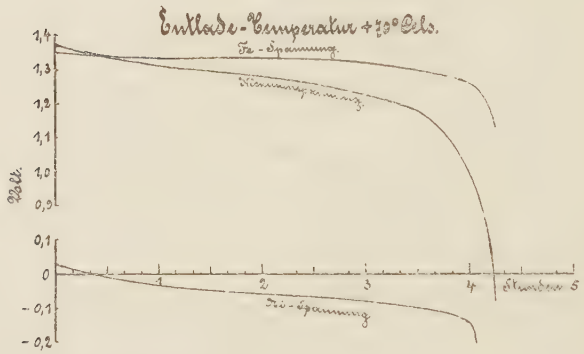
Mittelwert:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std.	% der Garantie
19,88	99,36	19,29	96,49

Abweichungen vom Mittelwerte:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std.	% der Garantie
— 0,22	— 1,13	— 0,12	— 0,69
— 0,05	— 0,23	+ 0,20	+ 0,97
+ 0,28	+ 1,47	— 0,05	— 0,27

KURVENBLATT 17



Versuchstemperatur + 80° C.

TABELLE 20

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h		Kapazität in Amp.-Std.		% der listenmäßigen Garantie	
		Zelle:	1	2	1	2	1	2
7,2	4	5	3:46	3:32	18,83	17,67	94,14	88,31
			3:43	3:25	18,58	17,08	92,88	85,40
			3:47	3:38	18,91	18,17	94,55	88,80

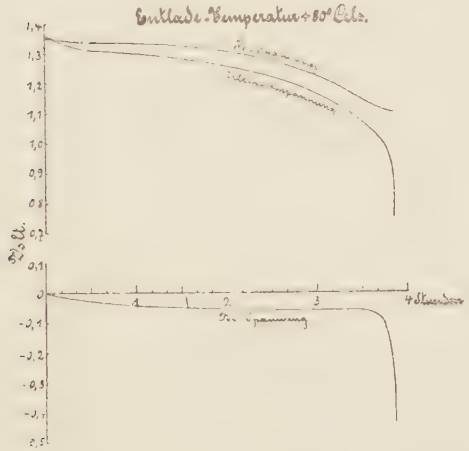
Mittelwert:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std.	% der Garantie
18,77	93,86	17,64	87,5

Abweichungen vom Mittelwerte:

Zelle 1		Zelle 2	
Amp.-Std.	% der Garantie	Amp.-Std.	% der Garantie
+ 0,06	+ 0,28	+ 0,03	+ 0,81
— 0,19	— 0,98	— 0,56	— 2,10
+ 0,14	+ 0,69	+ 0,53	+ 1,30

KURVENBLATT 18



Die Versuchsreihe wurde bei 80 ^{0} C abgebrochen. Eine weitere Steigerung der Temperatur würde die Isolation im Innern der Zelle angreifen, sodaß Kurzschlüsse, die die Folge sein würden, ein falsches Bild ergäben.

Eine Zusammenstellung der Versuchsergebnisse gebe ich in Abschnitt D.

2. Versuchszelle Type A 4:

Die zweite Versuchsreihe wurde mit einer Zelle Type A 4 erhalten.

Die A 4-Zelle ist eine sogenannte Röhrchenzelle, d. h. die positive Masse ist in Röhrchen aus perforiertem, vernickeltem Stahlblech eingeschlossen. Die Zelle besitzt 120 solcher Röhrchen, die zu je 30 in 2 Etagen zu einer Platte zusammengesetzt sind. Die negative Masse ist wiederum in kleine vernickelte, perforierte Eisentaschen eingepreßt. Der Elektrolyt ist 25 %ige Kalilauge mit Lithiumhydroxydzusatz. Füllgewicht, spezifische Belastung, sowie listenmäßige Angabe über Lade- und Entladestrom und -zeit, sowie Kapazität sind in Tabellen 1 a und 2 a zu ersehen. Zum Unterschied von den Taschenzellen, bei denen die Kapazität von beiden Elektroden begrenzt wird, sei erwähnt, daß bei den Röhrchenzellen die Elektroden so gewählt sind, daß die Kapazität nur von der Positiven begrenzt wird. Bei normaler Behandlung beträgt der Spannungsabfall bis zur Entladegrenze 1 Volt, für die negative Elektrode 0,1 Volt, für die positive 0,3 Volt. Bei einer weiteren Entladung hält sich die Spannung der negativen Elektrode noch innerhalb des gestatteten Abfalles, während die positive sich schnell der Null nähert. Kurvenblatt 1 a veranschaulicht den Verlauf der Klemmen- sowie auch der Einzelspannungen.

TABELLE 1a

Füllmasse pro Tasche		Strom pro Tasche		Strom pro g Masse		Kapazität pro Tasche		Kapazität pro g Masse	
pos.	neg.	pos.	neg.	pos.	neg.	pos.	neg.	pos.	neg.
g	g	Amp.	Amp.	Amp.	Amp.	A. h	A. h	A. h	A. h
7,8	8,3	0,25	0,250	0,032	0,0301	1,25	1,25	0,16	0,15

TABELLE 2a

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h	Kapazität in Amp.-Std.
30	7	30	5	150

Tabelle 3a enthält die Ergebnisse bei Entladung bei Zimmertemperatur.

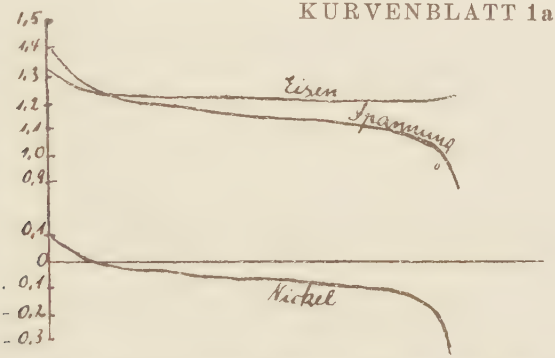
TABELLE 3a

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h	Kapazität in Amp.-Std.	% der listenmäßigen Garantie
30	7	30	5¹⁵	157,5	105
			5¹⁵	157,5	105
			5¹⁵	157,5	105
			5¹⁵	157,5	105

Die Ergebnisse zeigen, daß die Zelle brauchbar war.

Das Kurvenblatt 1a veranschaulicht den Spannungsverlauf.

KURVENBLATT 1a



Ich lasse jetzt die Versuchsergebnisse bei den verschiedenen Temperaturen folgen:

Versuchstemperatur — 5° C.

TABELLE 4a

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h	Kapazität in Amp.-Std.	% der listenmäßigen Garantie
30	7	30	1¹⁵	37,5	25
			1¹⁵	37,5	25
			1³⁰	45,0	30
			1⁰⁰	30,0	20
			1¹⁵	37,5	25
			1¹⁵	37,5	25

Mittelwert:

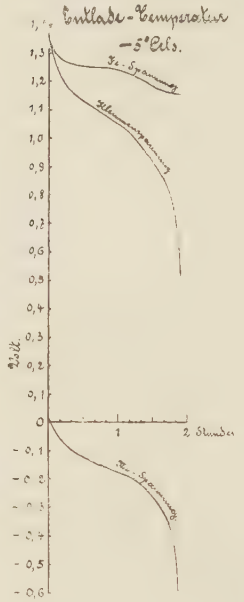
Ampèrestunden	% der Garantie
37,5	25

Die Einzelergebnisse weichen ab vom Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
± 0	± 0
± 0	± 0
+ 7,5	+ 5
— 7,5	— 5
± 0	± 0
± 0	± 0

Der Spannungsverlauf ist aus Kurvenblatt 2 a zu ersehen.

KURVENBLATT 2a



Versuchstemperatur — 2° C.

TABELLE 5a

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h	Kapazität in Amp.-Std.	% der listenmäßigen Garantie
30	7	30	2⁰⁰	60	40
			2³⁰	75	50
			1⁵⁵	57,5	38,3
			2⁰⁰	60	40

Mittelwert:

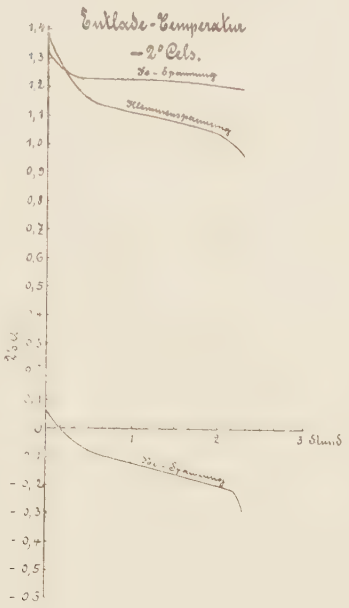
Ampèrestunden	% der Garantie
63,1	42,1

Abweichungen vom Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
— 3,1	— 2,1
+ 11,9	+ 7,9
— 5,6	— 3,8
+ 3,1	— 2,1

Der zugehörige Spannungsverlauf ist aus Kurvenblatt 3 a zu ersehen.

KURVENBLATT 3a



Versuchstemperatur + 2° C.

TABELLE 6a

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h	Kapazität in Amp.-Std.	% der listenmäßigen Garantie
30	7	30	3^{28}	104	69,33
			3^{30}	105	70,00
			3^{25}	102,5	68,33
			3^{30}	105	70,00
			3^{25}	102,5	68,33
			3^{20}	100	66,66

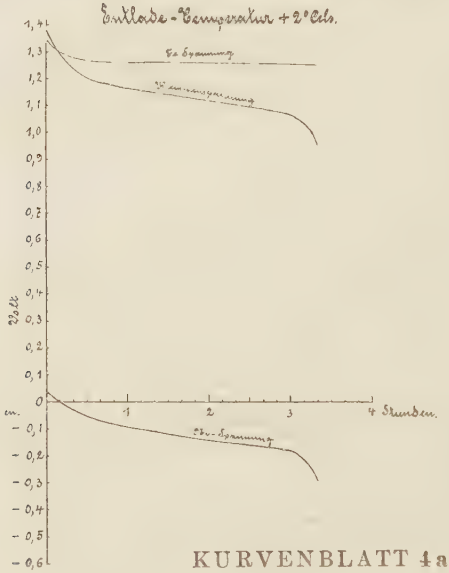
Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
103,01	68,77

Abweichungen vom Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
+ 0,99	+ 0,56
+ 1,99	+ 1,23
— 0,51	— 0,44
+ 1,99	+ 1,23
— 0,51	— 0,44
— 3,01	— 2,11

Das Kurvenblatt 4a gibt den Spannungsverlauf wieder.



KURVENBLATT 4a

Versuchstemperatur + 5° C.

TABELLE 7a

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h	Kapazität in Amp.-Std.	% der listenmäßigen Garantie
30	7	30	352	116	77,31
			354	117	77,98
			400	120	80,00
			350	115	76,65
			340	110	73,32
			355	117,5	78,33

Mittelwert:

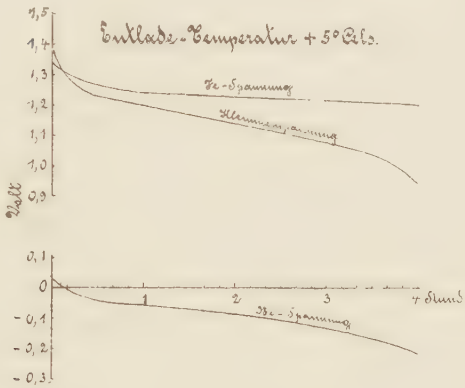
Ampèrestunden	% der Garantie
115,9	77,26

Abweichungen vom Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
+ 0,1	+ 0,05
+ 1,1	+ 0,72
+ 4,1	+ 2,74
— 0,9	— 0,61
— 5,9	— 3,94
+ 1,6	+ 1,07

Der zugehörige Spannungsverlauf ist in Kurvenblatt 5a aufgezeichnet.

KURVENBLATT 5a



Versuchstemperatur + 10° C.

TABELLE 8a

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h	Kapazität in Amp.-Std.	% der listenmäßigen Garantie
30	7	30	4³⁰	135	90
			4³³	136,5	90,99
			4²⁶	133	88,66
			4³⁴	137	91,32
			4²⁷	133,5	88,99
			4²⁶	133	88,66
			4²⁵	132,5	88,33

Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
134,35	89.45

Abweichungen vom Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
+ 0,65	+ 0,55
+ 2,15	+ 1,54
— 1,35	— 0,79
+ 2,65	+ 1,87
— 0,85	— 0,46
— 1,35	— 0,79
— 1,85	— 1,12

Der Spannungsverlauf ist aus Kurvenblatt 6a zu ersehen.

KURVENBLATT 6a

Versuchstemperatur + 15° C.

TABELLE 9a

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h	Kapazität in Amp.-Std.	% der listenmäßigen Garantie
30	7	30	445	142,5	95
			445	142,5	95
			500	150	100
			430	135	90
			445	142,5	95

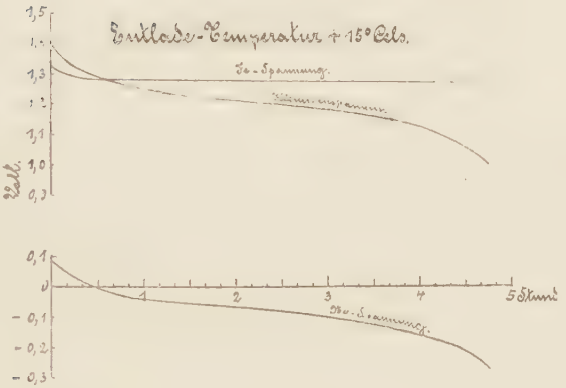
Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
142,5	95

Abweichungen vom Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Stunden
± 0	± 0
± 0	± 0
+ 7,5	+ 5
— 7,5	— 5
± 0	± 0

KURVENBLATT 7a



Versuchstemperatur + 20° C.

TABELLE 10a

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h	Kapazität in Amp.-Std.	% der listenmäßigen Garantie
30	7	30	4⁵⁶	148	98,65
			5⁰⁰	150	100,00
			4⁵⁵	147,5	98,32
			5⁰⁰	150	100,00
			5⁰³	151,5	100,99

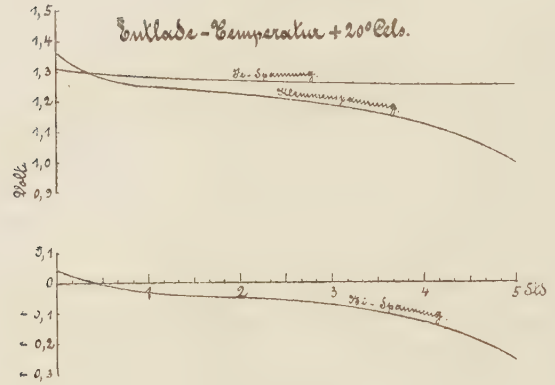
Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
147,9	98,59

Abweichungen vom Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
+ 0,1	+ 0,06
— 5,4	— 3,59
— 0,4	— 0,27
+ 2,1	+ 2,41
+ 3,6	+ 3,40

KURVENBLATT 8a



Versuchstemperatur + 25° C.

TABELLE 11a

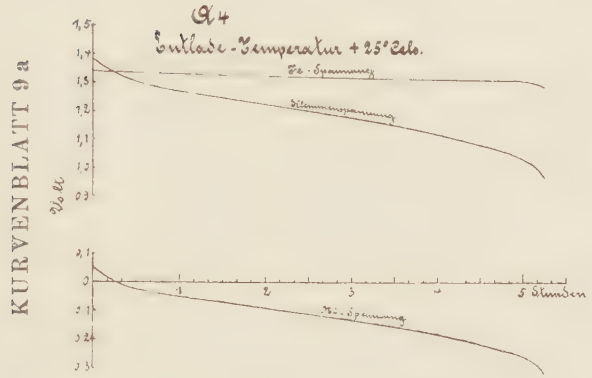
Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h	Kapazität in Amp.-Std.	% der listenmäßigen Garantie
30	7	30	5¹⁰	153	103,30
			5⁰⁸	154	102,66
			5⁰⁸	154	102,66
			5¹⁰	155	103,30
			5¹²	156	103,99

Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
154,8	103,18

Abweichungen vom Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
+ 0,2	+ 0,12
— 0,8	— 0,54
— 0,8	— 0,52
+ 0,2	+ 0,12
+ 1,2	+ 0,81



Versuchstemperatur + 30° C.

TABELLE 12a

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h	Kapazität in Amp.-Std.	% der listenmäßigen Garantie
30	7	30	5¹⁵	157,5	105
			5¹⁵	157,5	105
			5¹⁵	157,5	105
			5¹⁵	157,5	105

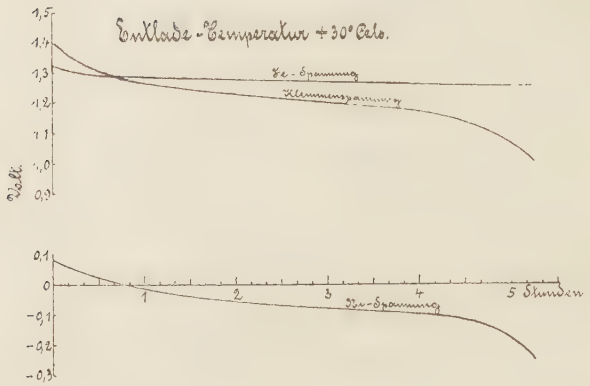
Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
157,5	105

Abweichungen vom Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
± 0	± 0
± 0	± 0
± 0	± 0
± 0	± 0

KURVENBLATT 10a



Versuchstemperatur + 35° C.

TABELLE 13a

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h	Kapazität in Amp.-Std	% der listenmäßigen Garantie
30	7	30	5¹⁵	157,5	105
			5²²	161	107,33
			5³⁰	165	110
			5²³	161,5	107,66

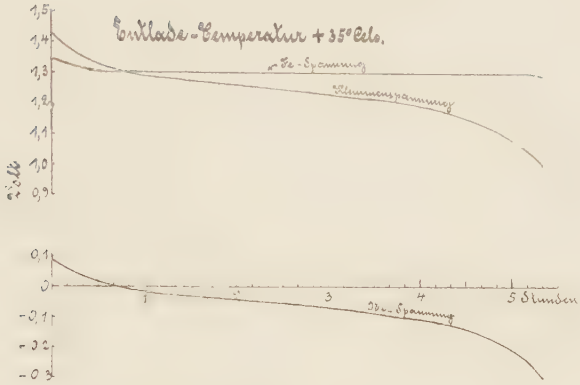
Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
161,2	107,49

Abweichungen vom Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
— 3,7	— 2,49
— 0,2	— 0,16
+ 3,8	+ 2,51
+ 0,3	+ 0,17

KURVENBLATT 11 a



Versuchstemperatur + 40° C.

TABELLE 14 a

Lade- strom Amp.	Lade- zeit h	Entlade- strom Amp.	Entlade- zeit h	Kapazität in Amp.-Std.	% der listenmäßigen Garantie
30	7	30	5^{30}	165	110
			5^{30}	165	110
			5^{30}	165	110
			5^{30}	165	110

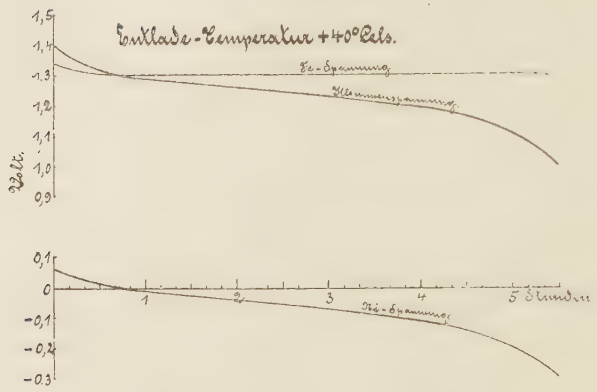
Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
165	110

Abweichungen vom Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
± 0	± 0
± 0	± 0
± 0	± 0
± 0	± 0

KURVENBLATT 12a



Versuchstemperatur + 45° C.

TABELLE 15a

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h	Kapazität in Amp.-Std.	% der listenmäßigen Garantie
30	7	30	537	168,5	112,3
			540	170,0	113,3
			544	172,0	114,65

Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
170,1	113,41

Abweichungen vom Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
— 1,60	— 1,11
— 0,10	— 0,11
+ 1,90	+ 1,24

KURVENBLATT 13a

Versuchstemperatur + 50° C.

TABELLE 16a

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h	Kapazität in Amp.-Std	% der listenmäßigen Garantie
30	7	30	5^{35}	167,5	111,65
			5^{36}	168	111,99
			5^{33}	166,5	110,99

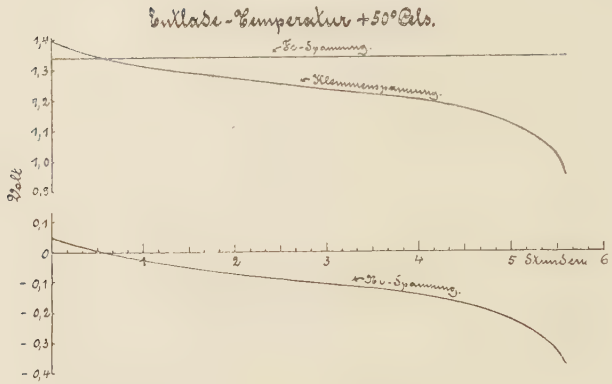
Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
167,3	111,54

Abweichungen vom Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
+ 0,2	+ 0,11
+ 0,7	+ 0,45
— 0,8	— 0,55

KURVENBLATT 14a



Versuchstemperatur + 55° C.

TABELLE 17a

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h	Kapazität in Amp.-Std.	% der listenmäßigen Garantie
30	7	30	5^{20}	160	106.66
			5^{25}	162,5	108,33
			5^{18}	159	105,99

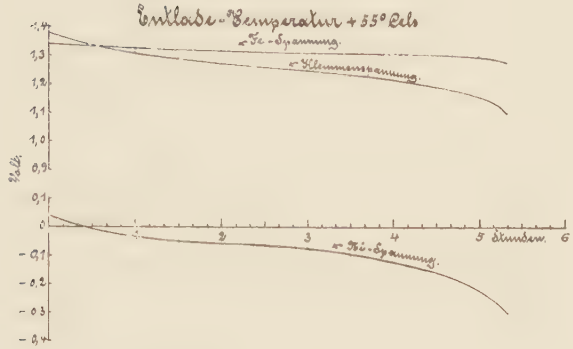
Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
160,5	106,99

Abweichungen vom Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
— 0,5	— 0,33
+ 2,0	+ 1,34
— 1,5	— 1,00

KURVENBLATT 15a



Versuchstemperatur + 70° C.

TABELLE 18a

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h	Kapazität in Amp.-Std.	% der listenmäßigen Garantie
30	7	30	5¹²	156,31	103,99
			4⁵⁹	149,5	99,67
			5⁰⁸	154	102,66

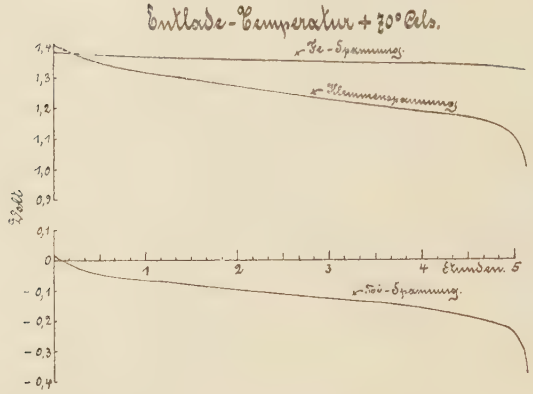
Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
153,27	102,1

Abweichungen vom Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
+ 3,04	+ 1,88
— 3,77	— 2,43
+ 0,73	+ 0,56

KURVENBLATT 16a



Versuchstemperatur + 80° C.

TABELLE 19a

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h	Kapazität in Amp.-Std.	% der listenmäßigen Garantie
30	7	30	4³⁷	138,5	92,32
			4⁴⁰	140	93,32
			4³⁶	138	91,98

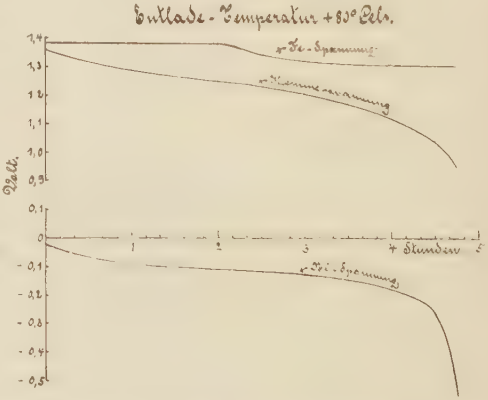
Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
138,8	92,54

Abweichungen vom Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
— 0,3	— 0,22
+ 1,2	+ 0,78
— 0,8	— 0,56

KURVENBLATT 17a



Die zweite Versuchsreihe wurde ebenfalls mit 80° C abgebrochen. Die Einwirkung der hohen Temperatur auf die Isolation im Innern der Zelle würde bei weiterer Steigerung der Temperatur Kurzschlüsse hervorrufen.

Ich gebe in Abschnitt D eine Zusammenstellung der Versuchsergebnisse.

3. Versuchszelle Type B 4.

Für die 3. Versuchsreihe verwendete ich eine Zelle Type B 4.

Die B 4-Zelle ist ebenfalls eine Röhrchenzelle. Die Zelle besitzt 60 positive Röhrchen, die zu je 30 zu einer Platte zusammengebaut sind. Die negative Masse ist wiederum in perforierte, vernickelte Stahlblechtaschen eingepreßt. Der Elektrolyt ist 25 %ige Kalilauge mit Lithiumhydroxydzusatz. Angaben über Füllgewicht, spezifische Belastung, sowie listenmäßige Angaben über Lade- und Entladestrom und -zeit sind aus Tabelle 1 b und 2 b zu ersehen. Der Spannungsverlauf ist derselbe wie bei der A 4-Zelle. Was über die Einzelspannungen der A 4-Zelle gesagt wurde, gilt auch für die B 4-Zelle.

TABELLE 1 b

Füllmasse pro Tasche		Strom pro Tasche		Strom pro g Masse		Kapazität pro Tasche		Kapazität pro g Masse	
pos.	neg.	pos.	neg.	pos.	neg.	pos.	neg.	pos.	neg.
g	g	Amp.	Amp.	Amp.	Amp.	A. h	A. h	A. h	A. h
7,8	6,3	0,23	0,1875	0,032	0,0281	1,25	0,9375	0,16	0,149

TABELLE 2 b

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h	Kapazität in Amp.-Std.
15	7	15	5	75

TABELLE 3 b

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h	Kapazität in Amp.-Std.	% der listenmäßigen Garantie
15	7	15	5^{30}	87,5	116,7
			5^{35}	83,75	111,7
			5^{35}	83,75	111,7

Die Tabelle 3 b gibt die Werte wieder, die bei Zimmertemperatur erhalten wurden.

Es sei noch bemerkt, daß die B 4-Zelle eine Original-Edison-Zelle war. Über das Alter derselben konnten keine genauen Daten ermittelt werden. Desgleichen ist mir unbekannt geblieben, ob die Zelle vor Einschalten in die Versuchsreihe schon längere Zeit in Gebrauch war. Die ersten Ergebnisse zeigen aber, daß die Zelle bei Versuchsbeginn den Anforderungen entsprach.

Ich lasse jetzt die Versuchsergebnisse bei den verschiedenen Temperaturen folgen:

Versuchstemperatur — 15° C.

TABELLE 4b

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h	Kapazität in Amp.-Std.	% der listenmäßigen Garantie
15	7	15	0^{14}	3,5	4,66
			0^{17}	4,25	5,66
			0^{20}	5,0	6,55
			0^{10}	2,5	3,33

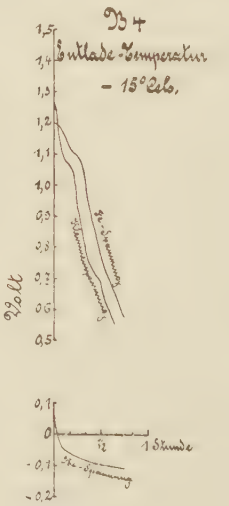
Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
3,81	5,08

Abweichungen vom Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
— 0,31	— 0,42
+ 0,44	+ 0,58
+ 1,19	+ 1,58
— 1,31	— 1,75

KURVENBLATT 3b



Versuchstemperatur — 5° C.

TABELLE 5b

Lade- strom Amp.	Lade- zeit h	Entlade- strom Amp.	Entlade- zeit h	Kapazität in Amp.-Std.	% der listenmäßigen Garantie
15	7	15	0^{18}	4,5	5,99
			0^{26}	6,5	8,66
			0^{25}	6,25	8,33
			0^{30}	7,5	9,99
			0^{23}	5,75	7,66

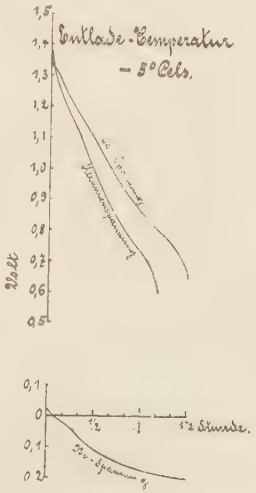
Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
6,1	8,13

Abweichungen vom Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
— 1,6	— 2.14
+ 0,4	+ 0,53
+ 0,15	+ 0,20
+ 1,4	+ 1,86
— 0,35	— 0,47

KURVENBLATT 4b



Versuchstemperatur — 2° C.

TABELLE 6b

Lade- strom Amp.	Lade- zeit h	Entlade- strom Amp.	Entlade- zeit h	Kapazität in Amp.-Std.	% der listenmäßigen Garantie
15	7	15	2^{00}	30	40
			2^{05}	31,25	41,67
			2^{02}	30,50	40,66
			1^{58}	29,50	39,34

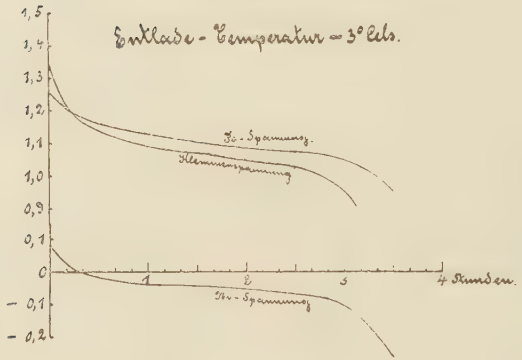
Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
30,31	40,40

Abweichungen vom Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
— 0,31	— 0,40
+ 0,94	+ 1,27
+ 0,19	+ 0,26
— 0,81	— 1,06

KURVENBLATT 3b



Versuchstemperatur + 5° C.

TABELLE 7b

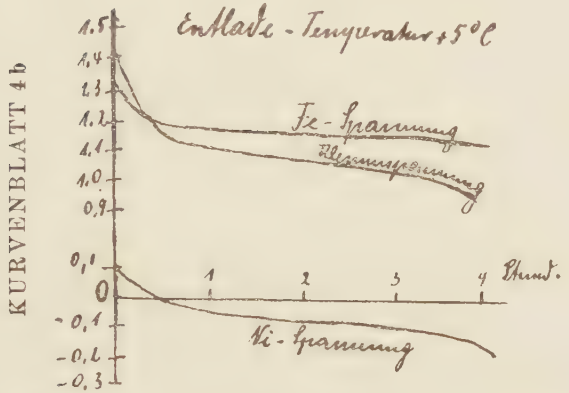
Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h	Kapazität in Amp.-Std.	% der listenmäßigen Garantie
15	7	15	4⁰⁰	60	80
			4⁰⁸	62	82,66
			4¹⁰	62,5	83,33
			3⁵³	58,25	77,65
			3⁵⁶	59	78,65

Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
60,35	80,46

Abweichungen vom Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
— 0,35	— 0,46
+ 1,65	+ 2,20
+ 2,15	+ 2,87
— 2,1	— 2,81
— 1,35	— 1,81



Versuchstemperatur + 15° C.

TABELLE 8 b

Lade-strom Amp.	Lade-zeit h	Entlade-strom Amp.	Entlade-zeit h	Kapazität in Amp.-Std.	% der listenmäßigen Garantie
15	7	15	445	71,25	95,00
			449	72,25	96,31
			443	70,75	94,32
			445	71,25	95,00

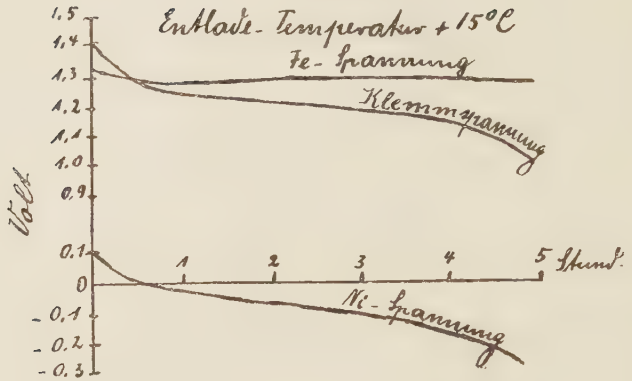
Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
71,37	95,16

Abweichungen vom Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
— 0,12	— 0,16
+ 0,88	+ 1,15
— 0,62	— 0,84
— 0,12	— 0,16

KURVENBLATT 5b



Versuchstemperatur + 20° C.

TABELLE 9b

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h	Kapazität in Amp.-Std.	% der listenmäßigen Garantie
15	7	15	5⁰⁰	75	100
			5⁰⁰	75	100
			5⁰⁰	75	100
			5⁰⁰	75	100
			5⁰⁰	75	100

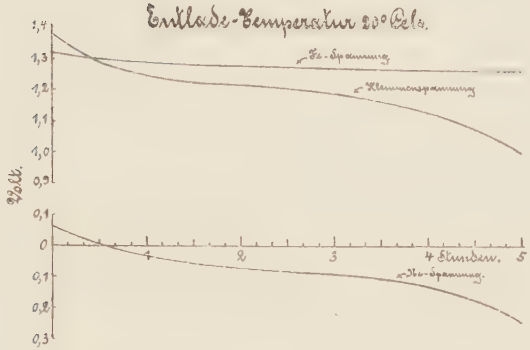
Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
75	100

Abweichungen vom Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
± 0	± 0
± 0	± 0
± 0	± 0
± 0	± 0
± 0	± 0

KURVENBLATT 6b



Versuchstemperatur + 35° C.

TABELLE 10b

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h	Kapazität in Amp.-Std.	% der listenmäßigen Garantie
15	7	15	530	82,5	110
			530	82,5	110
			530	82,5	110

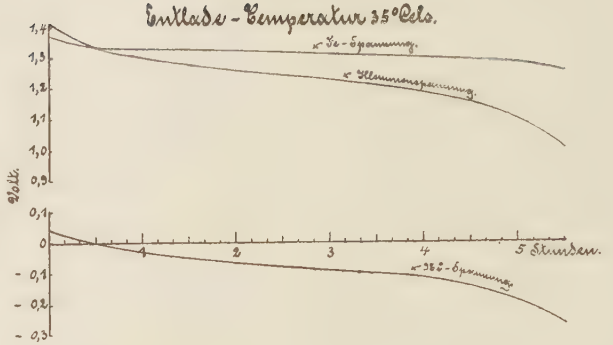
Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
82,5	110

Abweichungen vom Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
± 0	± 0
± 0	± 0
± 0	± 0

KURVENBLATT 7b



Versuchstemperatur + 45° C.

TABELLE 11 b

Ladestrom Amp.	Ladezeit h	Entladestrom Amp.	Entladezeit h	Kapazität in Amp.-Std.	% der listenmäßigen Garantie
15	7	15	545	86,25	115,00
			550	87,50	116,65
			542	85,50	113,99
			544	86,00	114,65

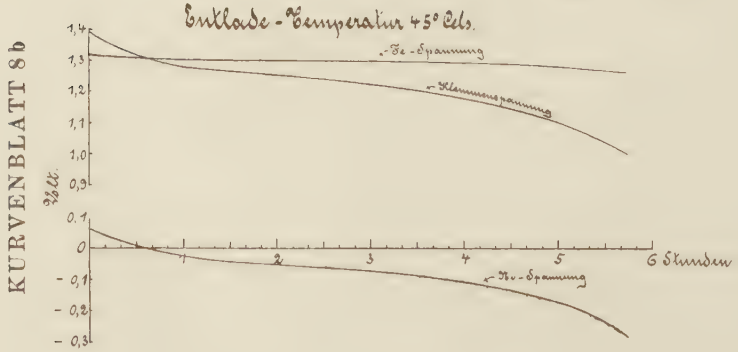
Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
86,31	115,07

Abweichungen vom Mittelwert:

Ampèrestunden	% der Garantie
— 0,06	— 0,07
+ 1,19	+ 1,58
— 0,81	— 1.08
— 0,31	— 0,42

KURVENBLATT 8b



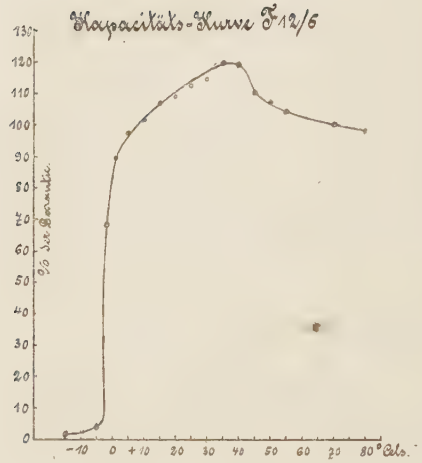
Die Versuchsreihe mußte hier abgebrochen werden. Die Kapazitätswerte schwankten bei den weiteren Versuchen sehr. Beim Öffnen der Zelle zeigte sich, daß die Taschen bezw. Röhrchen teilweise gerissen waren, sodaß infolgedessen ein Masseausfall eingetreten war. Mit jeder weiteren Entladung vergrößerte sich dieser Masseausfall. Da der bisherige Verlauf den Ergebnissen der Versuchsreihen I und II entsprach, konnte angenommen werden, daß diese Alterserscheinung auf die Ergebnisse bis zu 45° ohne Einfluß gewesen war.

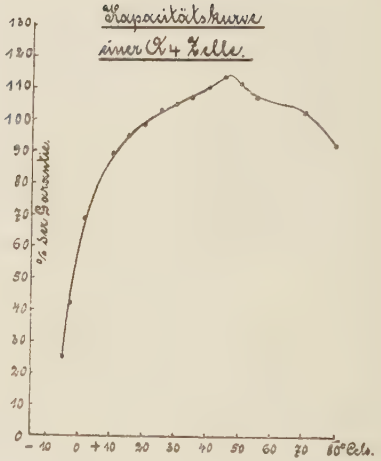
D. Zusammenstellung und Kritik.

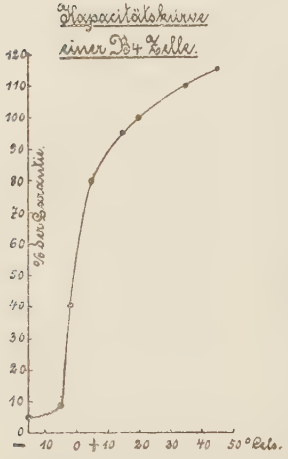
In der folgenden Tabelle sind die Mittelwerte der Versuchsergebnisse bei den einzelnen Temperaturen zusammengestellt:

Type:	F 12/6	A 4	B 4
Temperatur	% der Garantie	% der Garantie	% der Garantie
— 15° C	1,5	—	5,08
— 5° C	3,6	25,00	8,13
— 2° C	68,57	42,1	40,40
+ 2° C	89,24	68,77	—
+ 5° C	97,56	77,26	80,46
+ 10° C	101,76	89,45	—
+ 15° C	106,84	95,00	95,16
+ 20° C	108,52	98,59	100,00
+ 25° C	112,80	103,18	—
+ 30° C	114,04	105,00	—
+ 35° C	119,46	107,49	110,00
+ 40° C	118,32	110,00	—
+ 45° C	109,37	113,41	115,07
+ 50° C	106,75	111,54	—
+ 55° C	104,32	106,59	—
+ 70° C	99,36	102,10	—
+ 80° C	93,86	92,54	—

Zeichnet man die Werte derart in Koordinatenpapier ein, daß die Prozente der Garantie die Ordinaten und die Temperaturen die entsprechenden Abszissen bilden, dann erhält man folgende Kurven:







Wie die Kurven zeigen, ist der praktischen Verwendung des Edison-Akkumulators bei — 5 ⁰ eine Grenze gesetzt. Von — 3 ⁰ C an ist eine sprunghafte Zunahme der Kapazität zu verzeichnen, die bis 15 ⁰ C anhält. Von dieser Temperatur an verringert sich die Kapazitätszunahme und hält an bis etwa 40 ⁰ C. Bei den höheren Versuchstemperaturen beobachten wir wieder eine Abnahme der Kapazität.

Betrachten wir die Spannungskurven bei den einzelnen Versuchstemperaturen, so ist zu ersehen, daß die Spannungslage bei den tiefen Temperaturen bedeutend niedriger ist. Da die elektromotorischen Kräfte nur unwesentlich niedriger liegen, entsprechend der Nernst'schen Formel, so muß diese Erniedrigung durch die Erhöhung des inneren Widerstandes bewirkt sein. Letzterer ist aber einmal abhängig von der Leitfähigkeit und zum anderen von der Diffusionsgeschwindigkeit des Elektrolyten in die Platten. Die Leitfähigkeit und zum Teil die Diffusion sind beide abhängig von der Viscosität des Elektrolyten. Besonders wichtig ist der Einfluß der Viscosität deshalb, da während der Entladung durch Verbrauch bezw. Entstehung von Lösungswasser im Inneren der Elektroden

starke Konzentrationsänderungen im Inneren der aktiven Masse entstehen, welche durch die Diffusion ausgeglichen werden müssen. Durch diese Konzentrationsänderung wird sowohl der innere Ohm'sche Widerstand, wie auch die elektromotorische Kraft ungünstig beeinflußt. Die Verminderung dieses Einflusses geschieht einzig durch Diffusion, welche ihrerseits wieder von der Viscosität des Elektrolyten abhängt. Es ist somit die Bestimmung der Viscosität-Verhältnisse sicherlich von hervorragender Wichtigkeit für die Erkenntnis der Gründe der Kapazitätsänderung.

Die absolute innere Reibung ist die in absolutem Maße ausgedrückte Kraft, welche eine Flüssigkeitsschicht von 1 cm^2 Oberfläche über eine gleichgroße, 1 cm entfernte Schicht mit der Geschwindigkeit von 1 cm/sec verschieben kann.

Zur Messung dieser Kraft dient bei Flüssigkeiten beliebiger Zähigkeit die Bestimmung der Geschwindigkeit beim Durchfließen von Kapillaren unter einem bestimmten Überdruck. Um die Abhängigkeit dieser Durchfluß-Geschwindigkeit von der Temperatur zu beobachten, bediente ich mich folgender Versuchsanordnung.

Versuchsanordnung.

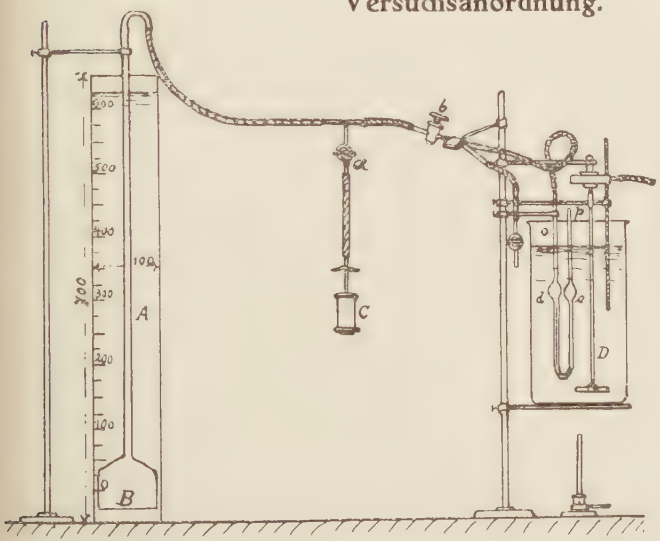


Fig. 1.

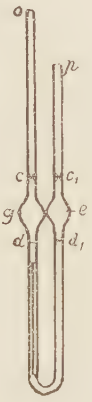


Fig. 2.

Man läßt bei o auf den in der Kapillare o d e p befindlichen Elektrolyten einen konstanten Luftdruck durch die

Druckvorrichtung AB einwirken und preßt dadurch den Elektrolyten durch den an CD (Fig. 2) sich anschließenden kapillaren Teil. Die Geschwindigkeit des durchfließenden Elektrolyten ergibt sich aus der Zeit, in welcher die Kugel e sich von der Marke d 1 bis c 1 füllt. C ist ein Handgebläse, das gestattet, vor Beginn des Versuches bei geöffnetem Hahn a und geschlossenem Hahn b den Druck in dem umgekehrt aufgestellten Büchner-Trichter B in dem mit Wasser gefüllten Zylinder A auf 600 mm Wassersäule einzustellen. Die Temperatur wird in D durch den Brenner, das Rührwerk und durch Zugießen von kaltem oder warmem Wasser gehalten.

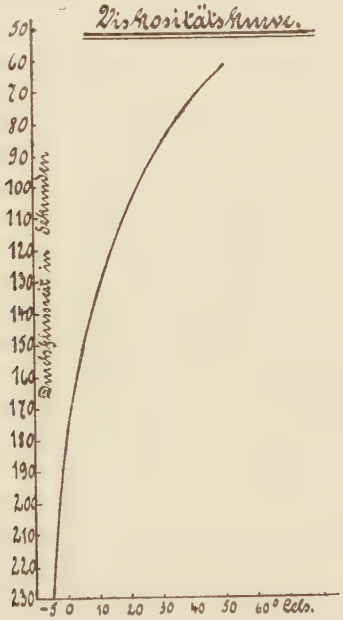
Ich erhielt folgende Durchflußzeiten:

Versuchstemperatur	Durchflußzeit Sekunden	Versuchstemperatur	Durchflußzeit Sekunden	Versuchstemperatur	Durchflußzeit Sekunden
+ 50 ° C	61,1	+ 45 ° C	66	+ 40 ° C	71,8
	61,6		66,4		72
	61,4		66,4		72
	61,3		66		72,2
	61,2		66,2		72
Mittelwert:	**61,3**		**66,2**		**72**
+ 35 ° C	77,6	+ 30 ° C	85,0	+ 25 ° C	94
	78,4		85,1		93,7
	78,2		84,8		93,8
	78		85,2		94
	78,1		85		94,2
Mittelwert:	**78**		**85**		**93,9**
+ 20 ° C	105	+ 15 ° C	116,2	+ 10 ° C	132,2
	104,8		116,4		131,4
	104,7		115,8		132
	104,9		115,9		132,3
	105,2		116,0		132
Mittelwert:	**104,9**		**116**		**132**
+ 5 ° C	152,4	± 0 ° C	176,0	— 5 ° C	230
	152,1		176,2		229,6
	152		176,4		229,8
	151,8		176,1		230,1
	151,9		175,7		230,4
Mittelwert:	**152**		**176,1**		**230**

Zusammenstellung der Mittelwerte:

Versuchs-temperatur	Durchfluß-zeit Sekunden	Versuchs-temperatur	Durchfluß-zeit Sekunden
+ 50 ° C	61,3	+ 20 ° C	104,9
+ 45 ° C	66,2	+ 15 ° C	116,0
+ 40 ° C	72,0	+ 10 ° C	132,0
+ 35 ° C	78,0	+ 5 ° C	152,0
+ 30 ° C	85,0	± 0 ° C	176,1
+ 25 ° C	93,9	— 5 ° C	230,0

Zeichnet man die Werte wieder in Koordinatenpapier derart ein, daß die Temperaturen die Abszissen und die entsprechenden Durchflußzeiten die Ordinaten bilden, dann erhält man folgende Kurve:

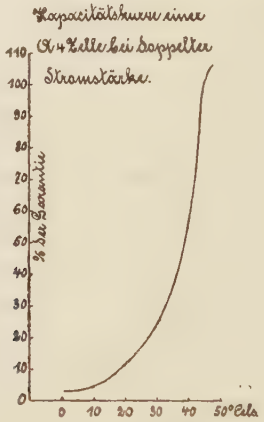


Die Kurve zeigt die große Abhängigkeit der Viscosität von der Temperatur. Mit steigender Temperatur verringert sich die Viscosität erst sprunghaft, während bei den höheren Temperaturen die Änderung langsamer erfolgt.

Vergleicht man die Kapazitätskurven mit der der Viscosität, so fällt der fast gleiche Verlauf auf. Die Abhängigkeit

der Kapazität von der Viscosität ist durch diese Kurve dargetan. Daß die Leitfähigkeit des zwischen den Platten befindlichen Elektrolyten von der Viscosität desselben abhängt, kann als bekannt vorausgesetzt werden.

Als zweites wollen wir den Vorgang in der Platte während der Entladung betrachten. Hierbei wollen wir die chemischen Vorgänge, die Foerster in seinen Abhandlungen eingehend darlegt, nicht wiederholen. Sie zeigen, daß bei der Entladung durch Wasserverbrauch der Elektrolyt in den Elektroden konzentrierter wird. Wir haben hier vor allem die Diffusion des Elektrolyten in die Platten in Betracht zu ziehen. Die Diffussionsmöglichkeit ist bei den einzelnen Platten zwar verschieden infolge der durch die mechanische Bearbeitung bedingten Unregelmäßigkeiten, sei es Schichtdicke oder mechanischer Zusammenhang der Masse infolge verschiedener Preßdrucke. Schaltet man diese Unregelmäßigkeiten dadurch aus, daß man dieselbe Zelle mit der doppelten Stromstärke bei den verschiedenen Temperaturen entlädt, dann erhält man folgende Kapazitätskurve:



Die Kapazitätszunahme ist, bei den Versuchstemperaturen bezogen auf die bei einfacher Entladestromstärke viel geringer. Die Leitfähigkeit ist dieselbe. Es müssen also noch weitere Faktoren in Rechnung gesetzt werden, die in der Abhängigkeit der Diffusionsgeschwindigkeit von der Zeit und der inneren bezw. äußeren Reibung zu suchen sind.

Die Entladung mit doppelter Stromstärke zeigt die Abhängigkeit der Diffussion von der Zeit. Der Konzentrationsausgleich des Elektrolyten in den Platten wurde durch die verkürzte Entladezeit verlangsamt.

Wir können die einzelnen Taschen und Röhrchen als ein Netzwerk betrachten, das von engen Kanälen durchzogen ist. Der Elektrolyt ist gezwungen in die Masse zu diffundieren, sodaß die Beschleunigung einmal durch äußere Reibung und zweitens durch innere, vermehrte Reibung unterdrückt wird. Ich kann daher auf diese Bewegung die Gesetze der Diffussion anwenden. Das Fick'sche Diffussionsgesetz lautet:

$$d\,S = -\,D \cdot q \cdot \frac{d\,c}{d\,x} \cdot d\,z,$$

wobei d S die in der Zeit d z durch den Querschnitt q diffundierende Menge bedeutet, wenn c die Konzentration an der Stelle x und c + d c an der Stelle x + d x und D der Diffussionskoeffizient ist. Wir können statt q den reciproken Reibungswiderstand $\frac{1}{W}$ setzen. Bringt man d z auf die linke Seite, dann erhält man:

$$\frac{d\,S}{d\,z} = -\,\frac{D}{W} \cdot \frac{d\,c}{d\,x}.$$

$\frac{d\,S}{d\,z}$ entspricht dem Elektrolytverbrauch innerhalb der Pastille, der der Stromstärke direkt proportional ist. Wir können also statt $\frac{d\,S}{d\,z}$ die Stromstärke A setzen. Statt des Diffusionskoeffizienten führen wir den reciproken Wert der Viscosität des Elektrolyten $\frac{1}{V}$ ein. Da das Volumen der einzelnen Massen während der Entladung zunimmt, so müssen sich die Kanälchen während der Entladung verengen. Die fortschreitende Verengung ist aber direkt proportional den entnommenen Ampèrestunden A · z, sodaß infolge Zunahme des äußeren Reibungswiderstandes W in W + f (A · z) übergeht. Die Gleichung lautet dann:

$$A = \frac{\frac{1}{V}}{W + f\,(A \cdot z)} \cdot \frac{d\,c}{d\,x}.$$

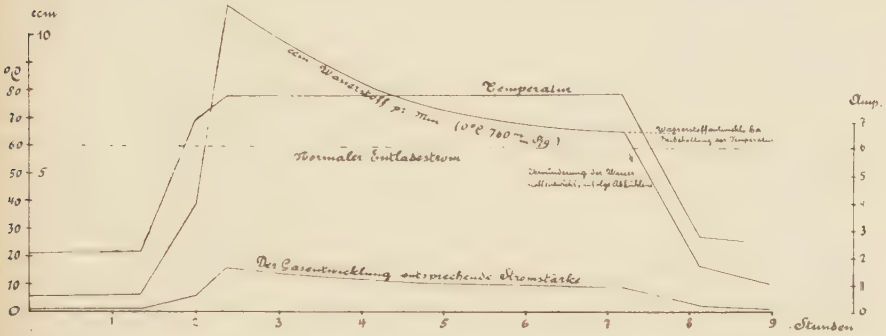
Der Entladevorgang ist aber nichts anderes als ein Wasserverbrauch bezw. Wasserrückbildung. A ist konstant; W + f (A · z) wächst mit fortschreitender Entladung. Die Laugedichte muß also innerhalb der Pastille mehr zunehmen wie die des freien Elektrolyten. Mit fortschreitender Entladung ist also die durch $\frac{d\,c}{d\,x}$ bezeichnete Antriebskraft der Bewegung der Lauge nicht mehr in der Lage, die für die Stromstärke A nötige Ionenmenge in das Innere der Platte zu schaffen. Die

Spannung muß also mit fortschreitender Entladung sinken, weil das Umsetzungsprodukt überwiegt. Damit ist aber gezeigt, daß die Spannung und damit die Kapazität zum anderen von dem Konzentrationsausgleich innerhalb der Platte abhängig ist. Die Diffusionsgeschwindigkeit ist, wie gezeigt, eine Funktion der äußeren Reibung innerhalb der Platte, die mit fortschreitender Entladung zunimmt, und zum anderen eine Funktion der inneren Reibung des Elektrolyten, die aber mit fallender Temperatur zunimmt. Um die Laugebewegung innerhalb der Platte experimentell zu untersuchen, namentlich die Abhängigkeit der Ionenemission von der Temperatur, fehlten mir leider Zeit und Apparate.

Aus dem Vorhergesagten folgt, daß die Kapazität mit steigender Temperatur immer weiter zunehmen müsse. Die Versuche haben aber ergeben, daß von + 40° C bezw. 45° C an eine Kapazitätsabnahme zu verzeichnen ist. Foerster führte diese Abnahme auf die Schrumpfung der wirksamen Oberfläche zurück. Er hat sich anscheinend von den Anschauungen, die diese Tatsache bei dem Bleiakkumulator erklären, leiten lassen. Mir erschien diese Erklärung nicht ausreichend. Begründet wurde diese Anschauung dadurch, daß man bei höheren Temperaturen eine stete Gasentwicklung der Elektroden bemerken kann und zwar sowohl im stromlosen Zustande wie auch während der Entladung. Zum Studium dieser Erscheinung wurden Platten, die sich bei mehrmaliger elektrischer Untersuchung als normal erwiesen, wie folgt behandelt:

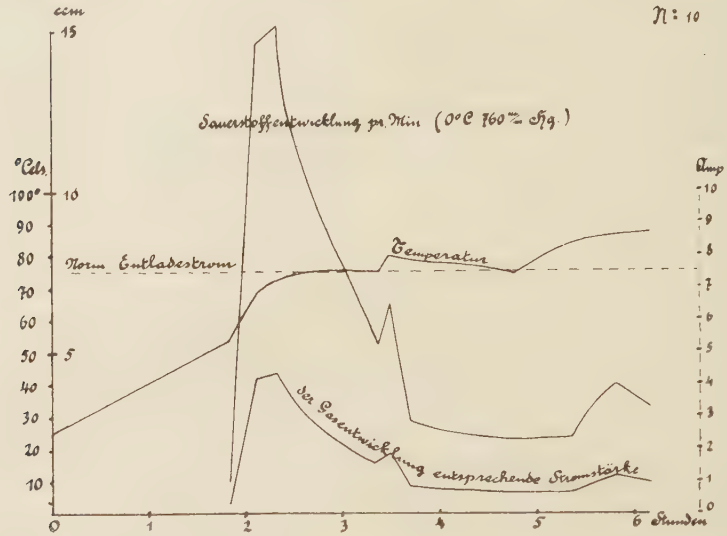
Zuerst wurden die Platten 7 Stunden mit normalem Strom geladen und dann nach einigen Stunden Ruhe in einem Glasgefäß im Normal-Elektrolyten für sich allein, also stromlos, erwärmt. Das dabei sich entwickelnde Gas wurde aufgefangen und gemessen. Die Ergebnisse dieser Versuche sind aus den nebenstehenden Kurven ersichtlich.

Gasentwicklung bei der negativen Elektrode bei steigender Temperatur:



Das von der negativen Platte entwickelte Gas erwies sich als reiner Wasserstoff. Wie aus der Kurve ersichtlich, ist bei normaler Temperatur von etwa 20 ° C nur eine minimale Gasentwicklung zu bemerken, etwa 5 ccm pro Minute. Der dadurch verursachte Energieverlust ist, wie aus der Kurve ersichtlich, gleichfalls vollständig zu vernachlässigen. Steigert man jedoch die Temperatur durch allmähliches Erwärmen in einem Wasserbad, so nimmt die Gasentwicklung rasch zu. Besonders schnell erfolgt diese Zunahme bei der Temperatursteigerung über 70 ° C. Hält man die Temperatur sodann konstant, so wird die Wasserstoffentwicklung nach einem anfangs erreichten Maximum ebenfalls ziemlich gleichmäßig, nimmt jedoch bei Abkühlung sofort wieder ab, um schließlich ungefähr die Werte am Anfang des Versuches wieder zu erreichen. Es ist ersichtlich, daß das fein verteilte Eisen, woraus die aktive negative Masse besteht, bei normaler Temperatur auf den Elektrolyten im stromlosen Zustande nur sehr wenig einwirkt, dagegen bei Temperatursteigerungen auf 40—70 ° C bereits in starkem Maße das Wasser des Elektrolyten zersetzt. Diese Zersetzung tritt mit höherer Temperatur um so stärker ein. Durch dieses Verhalten der negativen Elektrode allein ist bereits ein merkbarer Kapazitätsschwund bei höheren Temperaturen verursacht. Um so stärker wird diese kapazitätsvermindernde Wirkung bei höheren Temperaturen sein, je geringer der Überschuß an aktiver Eisenmasse in der Zelle ist. Darum ist dieser Einfluß bei der kleinen F 12/6-Zelle, welche ohne Eisenüberschuß arbeitet, bedeutend größer, als bei den Röhrchenzellen, welche ein nicht unbeträchtliches Mehr an Eisenmasse besitzen, als für ihre Leistung notwendig ist.

Gasentwicklung bei der positiven Elektrode bei steigender Temperatur:



Die positive Nickel-Elektrode zeigt einen ähnlichen Einfluß der Temperatur. Allerdings ist hierbei noch eine Erscheinung zu bemerken, welche einerseits den Vorgang komplizierter erscheinen läßt, andererseits aber Anhaltspunkte zum Studium der Natur der Nickel-Verbindungen in der Platte gibt. Die obige Kurve läßt sehr klar diesen eigenartigen Vorgang erkennen. Auch die geladene Nickel-Elektrode ist bei normaler Temperatur ziemlich unveränderlich. Die Gasentwicklung ist kaum meßbar. Erwärmt man die Elektrode auf ungefähr 50 ^{0} C, so setzt eine plötzliche starke Sauerstoffentwicklung ein, welche nach einiger Zeit trotz weiterer Steigerung der Temperatur wieder sehr stark zurückgeht. Der dadurch hervorgerufene Kapazitätsverlust ist, wie aus der Kurve ersichtlich, ziemlich bedeutend. Ist diese Sauerstoffmenge entwichen, dann nimmt die weitere Sauerstoffentwicklung bedeutend ab und kann auch durch weitere Temperatursteigerungen nur verhältnismäßig wenig mehr erhöht werden. Auch diese zeitweisen geringen Vermehrungen der Gasentwicklung durch weitere Temperatursteigerung nehmen rasch wieder ab. Dieses Kurvenbild zeigt uns klar zwei Eigenschaften der Nickel-Elektrode: Zuerst, daß sie gegen Temperaturerhöhungen über 50 ^{0} in weitgehendstem Maße empfindlich ist — die Einflüsse der höheren Temperatur auf die Lebensdauer blei-

ben bei den vorliegenden Untersuchungen außer Betracht — dann aber auch zeigt sich, daß in der geladenen Nickel-Elektrode kein einheitlicher Körper vorliegt, sondern ein Oxyd des Nickels, das bereits bei 50° C lebhaft Sauerstoff entwickelt und ein anderes, das bei dieser Temperatur noch verhältnismäßig beständig ist. Wir haben es bei der positiven Masse vermutlich mit einer festen Lösung von NiO_2 in Ni_2O_3 zu tun, was bereits Foerster und seine Schüler gefunden haben. Über die Gleichgewichte der beiden Oxyde fehlen allerdings noch nähere Untersuchungen.

Aus vorliegenden Versuchen ist bereits klar zu erkennen, daß bei höheren Temperaturen zu dem Einfluß der Viscosität die immer größer werdende Wirkung einer anderen Kraft, die Zersetzung des Elektrolytwassers durch das aktive Eisen, sowie die Zersetzung der positiven Masse, tritt, welche der ersten Kraft immer mehr entgegenwirkt und dadurch eine Verminderung der Kapazität bewirkt.

Ein Teil der entwickelten Gase wird beim Stromdurchgang während der Entladung sofort wieder verbraucht, und zwar wird der Verbrauch mit steigender Stromstärke zunehmen. Es wird also mit steigender Stromstärke ein immer größerer Teil der durch Selbstzersetzung entstehenden Gase verbraucht, woraus folgt, daß bei höheren Stromstärken die kapazitätsvermindernde Wirkung der höheren Temperatur geringer ist, als bei kleinen Stromstärken, ein Vorgang, der durch die Praxis vollauf bestätigt wird.

E. Zusammenfassung.

Durch die angeführten Untersuchungen ist der genaue Einfluß der Entladetemperatur auf die Kapazität des Edison-Sammlers bestimmt und der Grund dieser Erscheinung erforscht worden.

Es hat sich gezeigt:

1. Die Kapazität nimmt mit steigender Temperatur zu bis ca. 40° bezw. 45° C, und die tiefste Entladetemperatur, bei der eine nennenswerte Kapazität noch erzielt werden kann, ist bei — 3° bis — 5° C erreicht.
2. Bei Temperatursteigerungen über 45° C nimmt die Leistung wieder ab, wenn auch etwas langsamer.
3. Die erste Kapazitätsänderung ist hauptsächlich bedingt durch die Änderung der Viscosität des Elektrolyten.

4. Die Kapazitätsabnahme bei höheren Temperaturen wird hervorgerufen durch die Selbstzersetzung der aktiven positiven Masse bezw. durch die Oxydation der Eisenmasse infolge Einwirkung des sich zersetzenden Lösungswassers der Kalilauge.

Die vorstehende Arbeit wurde im Physikalischen Laboratorium der Accumulatoren-Fabrik Aktiengeselsschaft, Hagen i. W., in der Zeit von Dezember 1921 bis Ende März 1923 ausgeführt. Es ist mir eine angenehme Pflicht, auch an dieser Stelle Herrn Dr. A. E. Lange, Vorstand des Physikalischen Laboratoriums, für die Liebenswürdigkeit zu danken, daß er die Arbeit unterstützte und die Verwertung der Ergebnisse hier gestattete. Vor allem möchte ich nicht verfehlen, Herrn Dr. Alfred Bründelmayer für die vielen Anregungen zu danken.

Lebenslauf

Ich, Karl, Ewald, Hugo Woeste wurde geboren am 25. November 1890 zu Lauenscheider Ohl, Kreis Altena, als Sohn des Landwirts Diederich Woeste und seiner Ehefrau Lydia geb. Piepenstock, wohnhaft daselbst. Ich bin evangelischer Konfession. Nach Besuch der Volksschule zu Dahlerbrück kam ich zur Oberrealschule Hagen, wo ich 1910 das Reifezeugnis erhielt. Ich studierte Mathematik und Naturwissenschaften in Straßburg, Bonn und Münster. Vom 15. Februar 1921 bis 1. Mai 1923 war ich als Assistent des Physikalischen Laboratoriums bei der Akkumulatoren-Fabrik, Aktiengesellschaft Hagen, beschäftigt. Der Tag der mündlichen Prüfung war der 20. April 1923.